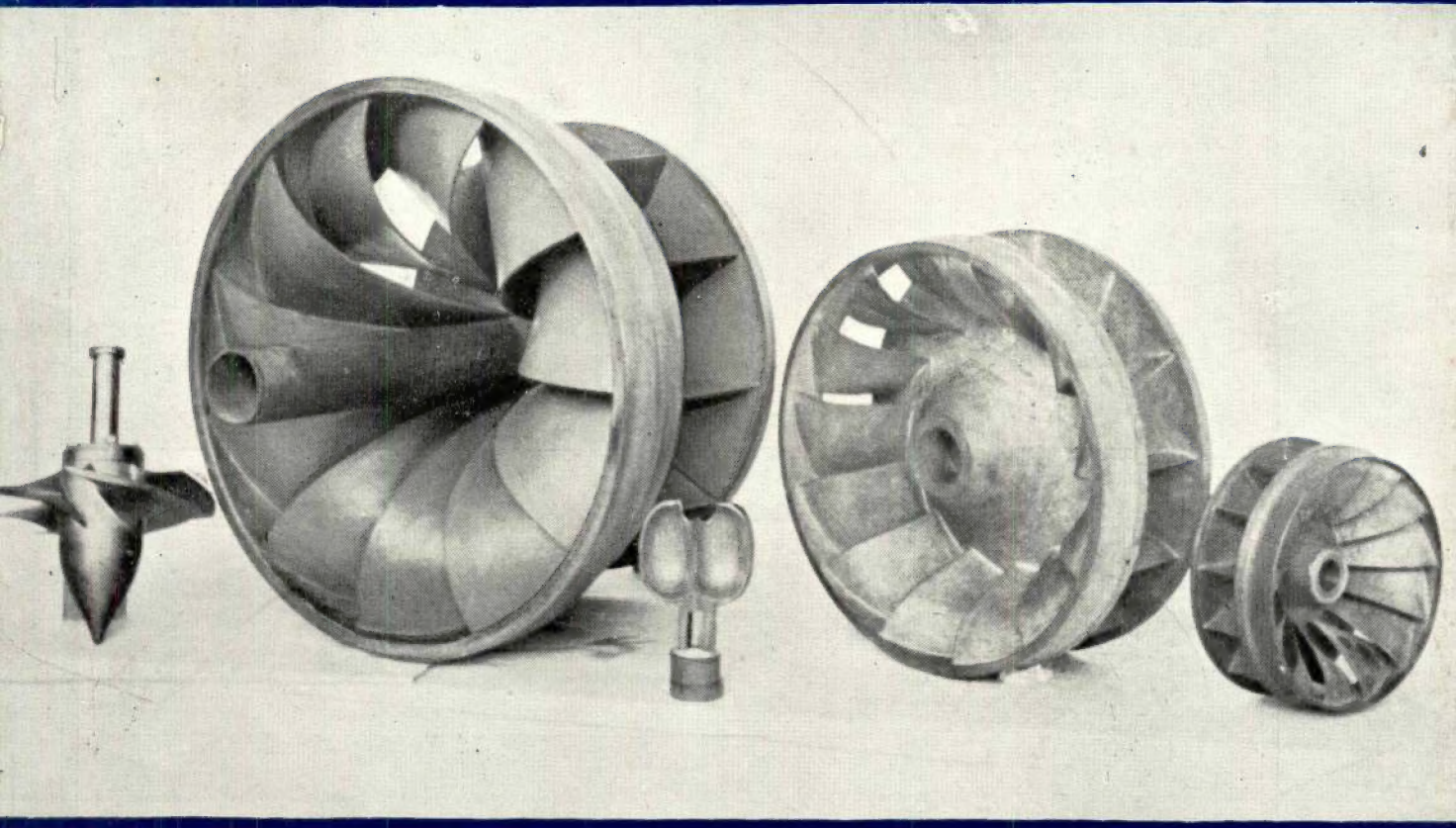
TÉCNICA



REVISTA DE ENGENHARIA
DOS ALUNOS DO I.S.T.

N.º 129 - Maio - 1942

CIMENTO

SECIL

Fabricado pelos mais modernos processos e preferido para todos os trabalhos de responsabilidade.
Sacos de papel ou de juta com 50 Kg.
Barricas de 180 Kg.

S E C I L

COMPANHIA GERAL DE CAL E CIMENTO
RUA DO COMERCIO, 56, 3.º
LISBOA

União Eléctrica Portuguesa

S. A. R. L.

SEDE
Rua Duque de Loulé, 240 — Pôrto
Telef. 2828 - 2829 - 2830 — Est. 90

DELEGAÇÃO
R. António Maria Cardoso, 13, 2.º - Lisboa
Telefones 27232 — 27233 — Est. 365

ELECTRICIDADE DO LINDOSO
E DAS CENTRAIS DO FREIXO E DA CACHOFARRA

A **União Eléctrica Portuguesa** distribui e vende electricidade nos **distritos** de VIANA DO CASTELO, BRAGA, PORTO, AVEIRO, COIMBRA, VISEU LEIRIA e de SETÚBAL, pela mais extensa rêde de alta-tensão em Portugal (mais de 1.200 kms), levando fôrça motriz às FÁBRICAS e luz a CIDADES, VILAS, ALDEIAS e LOGARES

A **U. E. P.** facilita a electrificação de Fábricas e oferece as maiores vantagens nas suas tarifas

Consultar a **U. E. P.** e consumir a sua energia é **proveitoso negócio**

CIMENTO TEJO

FÁBRICA EM ALHANDRA

A instalação mais moderna do País. Dois fornos rotativos em laboração. — O "CIMENTO TEJO" marca pelas suas altas resistências e regularidade, garantidas pela fiscalização contínua de tôdas as fases do fabrico, exercida por técnicos portugueses especializados.

Pedidos à Companhia "CIMENTO TEJO"

SEDE EM LISBOA
RUA DA VITÓRIA, 88, 2.º

FILIAL NO NORTE
AV. DOS ALIADOS, 20, 3.º
PORTO

NÚMERO
129
Maio — 1942

TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA
DOS
ALUNOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Redacção e Administração: AV. ROVISCO PAIS, IST / LISBOA-N./ TEL. 4 9144 (linha 50)

DIRECTOR
NUNO ABRANTES
ADMINISTRADOR
LUIZ DE ALMEIDA ALVES
BIBLIOTECÁRIO
JOSÉ DE LUCENA
CORPO REDACTORIAL
Fernando Monjardino
Francisco de Almeida e Castro
José Passos Coelho
Fernando Moitinho de Almeida

NÚMERO AVULSO 5$00
ASSINATURAS:

	3 N.os	6 N.os	12 N.os
Continente e Ilhas	13$50	26$00	50$00
Colónias Portuguesas e Espanha...	—	35$00	60$00
Estrangeiro...	—	40$00	70$00

EDITOR E PROPRIETARIO
ASS. DOS ALUNOS DO I. S. T.

COMPOSTO E IMPRESSO
NAS
OFICINAS FERNANDES
RUA CRUZ DOS POIAIS, 103
LISBOA

SUMÁRIO

CAPA — Rodas de turbinas hidráulicas construídas em Portugal

Págs.

Breve notícia histórica e desenvolvimento das turbinas. Tipos actualmente empregados. Princípios de funcionamento — Eng.º Mec. Manuel da Costa de Barros 845

La technique des carburants de remplacement. État actuel et considérations sur des techniques futures . . . . . Ed. Zedet 867

Diferentes regimes de escoamento de água em conduta livre . . . . . Eng.º Civil José Filipe Rebêlo Pinto 883

Duas sondagens no gôlfo do Tejo . . . . . Eng.º Civil António Manuel de Vasconcelos 891

Notas bibliográficas 896

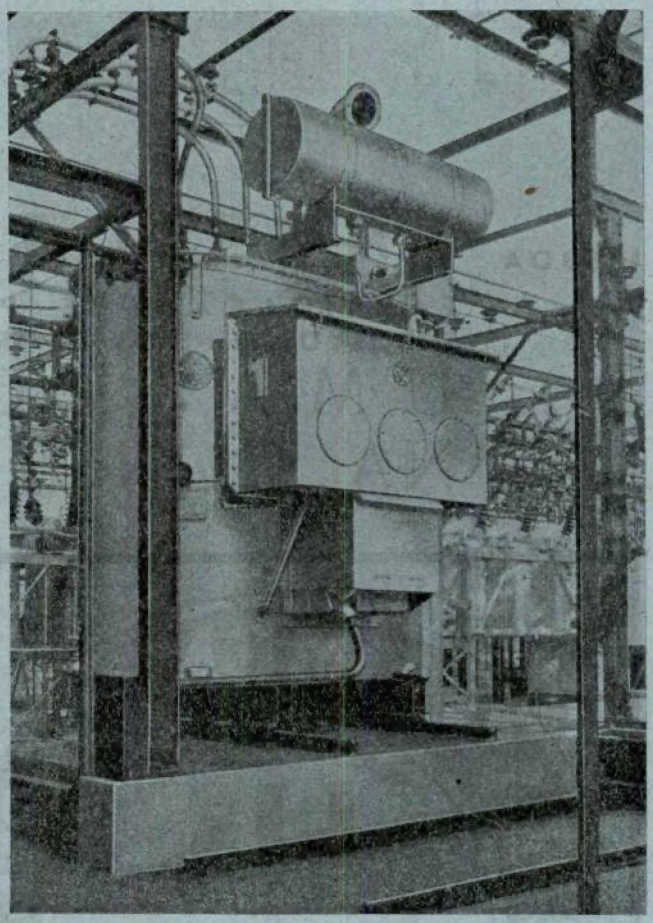
Publicações recebidas 896

STABILO
STABILO
STABILO
STABILO
STABILO
STABILO
SCHWAN
Bleistift-Fabrik A-G.
NÜRNBERG
Lápis de desenho
em 18 graduações 7 B — 9 H
Lápis de côr
O utensílio precioso em 24 côres
Novidade: STABILO Cellomin D. R. P.
O lápis-tinta com a mina especial
resistente às influências climáticas
Representante:
A. Ferreira da Silva, Porto.
Rua Alexandre Braga, 82. Tel. 6132

GENERAL ELECTRIC

Schenectady, N. Y.

Motores e dinamos. Alternadores. Transformadores. Aparelhos para alta e baixa tensão. Centrais termo e hidro-eléctricas. Instalações para melhorar o factor de potência. Tracção eléctrica. Máquinas, Transformadores e Electrodos para soldadura eléctrica. Fornos eléctricos. Automotoras eléctricas e Diesel--eléctricas. Turbinas de vapor. Aparelhos de iluminação. Instrumentos de medida. Cabos e fios. Electrificação de fábricas. Comandos eléctricos especiais para fábricas téxteis, fábricas de papel, etc. Máquinas frigoríficas.



Transformador trifásico com regulação da tensão em carga

THOMSON GENERAL ELECTRIC

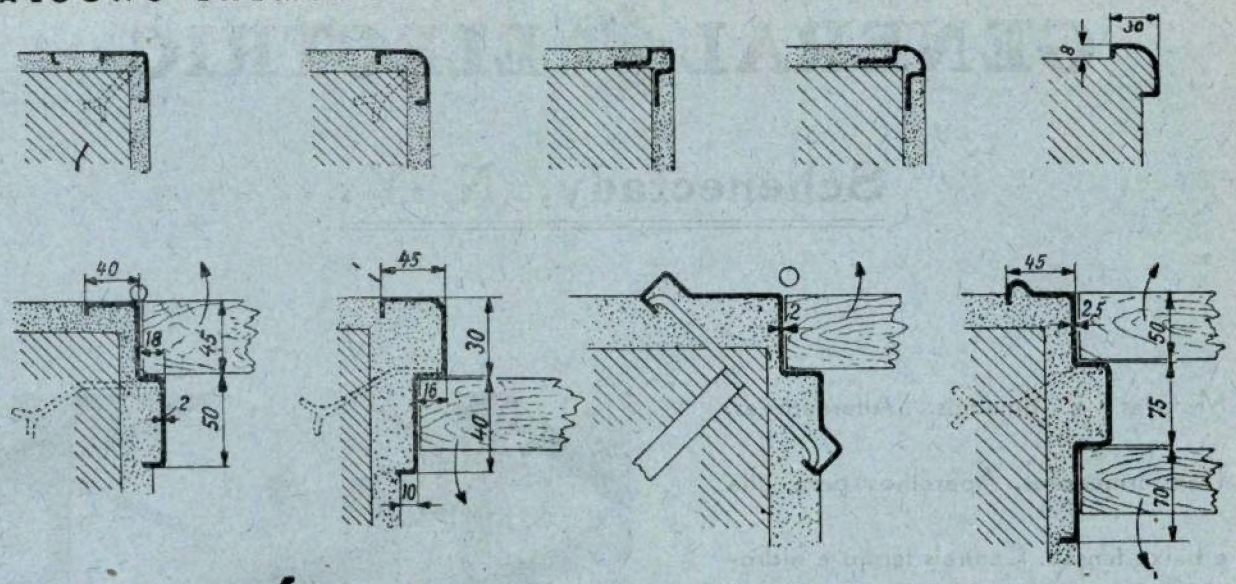
Portuguesa, L.da

LISBOA

Rua do Norte, 5

Telef. 28135-28136

ALGUNS EXEMPLOS DOS PERFIS QUE SE PODEM REALIZAR



LISBOA **FÁBRICA PORTUGAL**

FABRICAÇÃO DE PERFIS DE CHAPA PARA TODOS OS GENEROS DE TRABALHOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

UMA REVOLUÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Cimento «Liz» hidrofugado «N»

PRÓPRIO PARA

IMPERMEABILIZAÇÃO DE OBRAS

REBOCOS, FUNDAÇÕES, PAREDES, ETC.

Substitue com vantagem de ordem técnica e económica todos os impermeabilizadores conhecidos.

Em sacos de papel de 50 quilos

Peçam instruções para o seu emprêgo

Sede: Rua do Cais de Santarém, 64, 1.º — LISBOA
Filial: Rua de Santo António, 190-A, 1.º — PORTO

Agentes em todo o País

TÉCNICA

NUNO ABRANTES
DIRECTOR

ANO XVII - N.º 129 MAIO 1942

Breve notícia histórica e desenvolvimento das turbinas. Tipos actualmente empregados Princípios de funcionamento

PELO ENG. MECANICO (I. S. T.) MANUEL DA COSTA DE BARROS
PROF. DO I. S. T.

Constitue êste artigo um dos capítulos de um livro a publicar, pelo Sr. Engenheiro Manuel da Costa de Barros, divulgando um trabalho completo sôbre o assunto.

A Técnica *agradece ao nosso ilustre Professor, o ter permitido a publicação antecipada duma parcela do seu valioso trabalho.*

O primeiro engenho criado pelo homem para o aproveitamento das forças naturais foi a roda dos moinhos, (1) cuja origem se perde na mais remota antiguidade.

Mais tarde, já na época clássica, chegou a aplicar-se um dispositivo rudimentar, baseado no mesmo princípio da antiga esfera de Heron ou do conhecido torniquete hidráulico. Mas, pràticamente, durante séculos, nenhum outro sistema se generalizou além dos primitivos engenhos e das rodas hidráulicas, cujo emprêgo tomou considerável desenvolvimento a partir do Séc. XVI, após a publicação duma numerosa bibliografia sôbre a sua constituïção e funcionamento.

A-pesar-de pouco susceptíveis de evolução, chegaram estas rodas a receber alguns aperfeiçoamentos, sem nunca terem perdido todavia os seus principais inconvenientes, de natureza orgânica: velocidades muito baixas e possibilidades muito restritas de potência, impostas não só pelos caudais da sua limitada capacidade de admissão como pelas reduzidas alturas de queda a que é possível pràticamente adaptá-las.

Efectivamente, quando mergulhadas, deixam as rodas de poder mover-se (2) e, para evitar a submersão, só com pesos inadmissíveis conseguem atingir grandes diâmetros.

A maior altura aproveitada por êste processo parece ter sido de catorze metros, tendo a roda que a utilizava um diâmetro que excedia de um terço êsse desnível.

Para além dum tal limite é necessário repartir a queda por várias rodas dispostas em série ao longo dos cursos de água.

Meado o Séc. XVIII, dá-nos Euler o precedente das turbinas com a sua roda de veio vertical, fig. 1 — modêlo da futura turbina de Fontaine.

Verdadeiramente, porém, só no século seguinte foi possível substituir o antigo engenho hidráulico por um novo receptor, depois que em 1823

(1) Já Antíparos, poeta grego, a propósito desta invenção, vinda do Oriente, felicita nos seus poemas a mulher e o escravo, substituídos pelas náiades no giro pesado e custoso das rodas.

(2) Rodas há que giram dentro de água, mas à custa de enormes resistências, provocadas pela metade da roda que se desloca contra a corrente.

se instituiu em França um avultado prémio para quem conseguisse realizar dum modo prático as chamadas «turbinas hidráulicas de pás curvas de Belidor» — professor da Escola de Artilharia de la Fére que no seu tratado de Arquitectura hidráulica (1737) havia preconizado o sistema de pás conhecido pelo seu nome, sem todavia ter apresentado mais do que uma vaga previsão da teoria das turbinas.

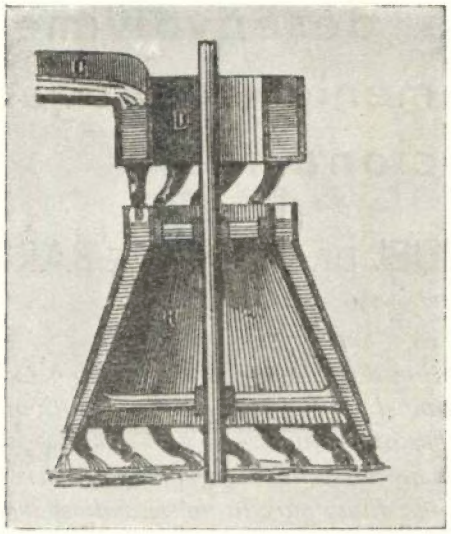


Fig. 1

Na concorrência do prémio estabelecido e logo no ano imediato, apresentou Burdin uma roda, à qual, em virtude dos turbilhões que dentro dela se formavam, aplicou pela primeira vez o nome de *turbina* — nome que o futuro devia consagrar, embora ligado à ideia dum fenómeno que por nocivo se procura justamente excluir a todo o custo do funcionamento destas máquinas.

Mas a verdadeira solução do problema devia apresentá-la pouco depois, em 1827, pondo termo a êste período embrionário da evolução, um discípulo de Burdin — Benoit Fourneyron.

Com a idade de vinte e um anos apenas, ao tempo da sua invenção, soube êste engenheiro compreender o êrro fundamental das concepções dos seus predecessores, que derivava principalmente do sistema de admissão parcial, e para o evitar conduziu os seus trabalhos por forma a reduzir ao mínimo a permanência da água na roda, suprimindo nela ao mesmo tempo tôda a capacidade inútil.

Orientado por estes princípios e valendo-se da sua natural intuïção técnica, logrou Fourneyron realizar pela primeira vez o pretendido receptor, fig. 2, com os dois órgãos essenciais duma verdadeira turbina: *o distribuïdor* ou *órgão fixo*, destinado a orientar a água em jactos para a incidência sôbre o *órgão móvel* ou *roda motriz*, que circundando aquêle, visto tratar-se duma turbina centrífuga, recebia a corrente assim orientada e lhe transformava a energia hidráulica

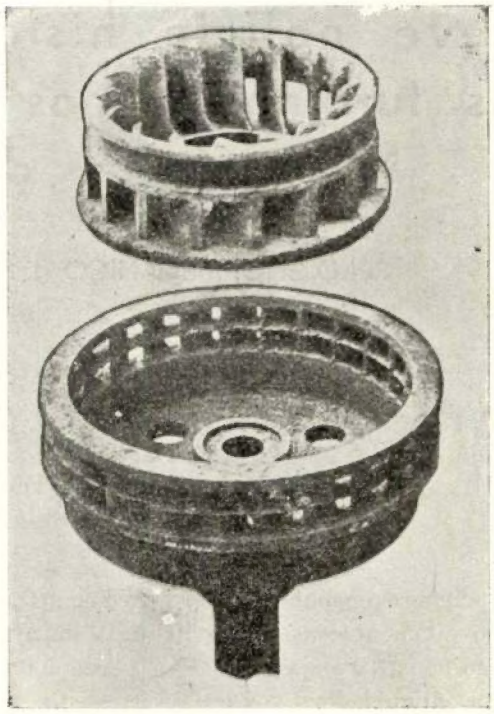


Fig. 2

em energia mecânica, como resultado da rotação adquirida.

Em corte axial e transversal, pode ver-se essa primeira turbina no esquema da fig. 3, no qual se designam pela letra u os vectores representativos das velocidades periféricas ou tangenciais do órgão móvel e por C as velocidades absolutas da água, cujos jactos se escoam ao longo dos canais dêsse órgão com a velocidade relativa W — acrescentadas estas grandezas dos índices 1 e 2 conforme se referem à entrada ou à saída da roda.

O funcionamento desta turbina obedecia ao chamado *princípio de reacção*, em virtude do qual a água atinge o intervalo entre o distribuïdor e a roda sem que a sua energia potencial ou de pressão, representada por tôda a altura de queda, tenha sido transformada inteiramente em velo-

cidade; só depois, já na roda e à saída desta, é que essa transformação se completa, visto haver no órgão móvel, do mesmo modo que no órgão fixo, para o mesmo fim de aumentar a velocidade, um estreitamento dos canais no sentido da corrente.

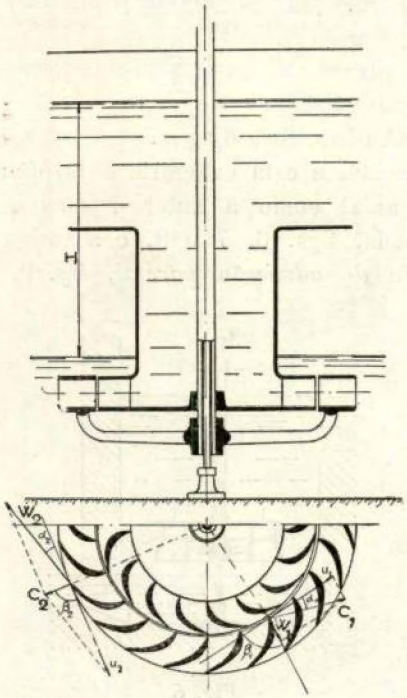


Fig. 3

Daqui resulta que a pressão no intervalo é maior que à saída da roda, fornecendo a relação destas pressões a indicação do modo como a energia potencial se reparte pelos dois órgãos, em conformidade com o princípio que dá o nome ao sistema.

Pràticamente, portanto, como nenhum receptor existe de pura reacção, em que só na roda se realize a transformação da pressão em velocidade, êste princípio significa que a água, àlém do efeito de repulsão à saída (energia de reacção), exerce também sôbre o órgão móvel uma impulsão à entrada (energia de acção), em virtude da velocidade já adquirida no distribuïdor à custa da queda de pressão que cabe a êste órgão.

À notável criação de Fourneyron, que trazia consigo o sinal evidente duma importante inovação indicando futuros caminhos da técnica, parece que devia seguir-se desde logo um período de largas aplicações.

Não sucedeu porém assim, a-pesar-da intensa propaganda promovida ao tempo pelos defensores do novo invento, entre os quais é justo destacar o nome de Aristides Bergés — autor da sugestiva designação de «hulha branca», tão generalizada depois para melhor divulgar, pela sua similitude feliz, os benefícios que se podiam colhêr das fôrças naturais com a aplicação do novo sistema, cuja eficácia já então havia sido comprovada pela primeira instalação de vulto, realizada no Izére.

É que o problema proposto não era simplesmente um problema de técnica; nêle intervinha, como sempre sucede em casos idênticos, o factor económico da mútua dependência entre a produção e o consumo. De pouco ou nada podia servir, com efeito, a energia produzida em pontos afastados das aglomerações humanas e por vezes até no mais êrmo das montanhas, se nenhuma aplicação racional lhe podia ser assegurada.

Foi necessário esperar pelas célebres experiências de transporte da energia eléctrica a distância, efectuadas por Deprez em 1883, entre Vizille e Grenoble, e que se visse resolvido o problema electrotécnico, por via do qual se garantiu à fôrça motriz a possibilidade de ser aplicada em boas condições nos centros populosos ou de actividade fabril, para que se reconhecesse à turbina a justa importância que ela merecia.

Não admira pois, que a um período embrionário sucedesse uma evolução histórica de lentas e sucessivas transformações, antes que se chegasse à criação dos tipos actuais.

Entre as turbinas que sucederam à de Fourneyron e que tiveram como ela restrita aplicação,

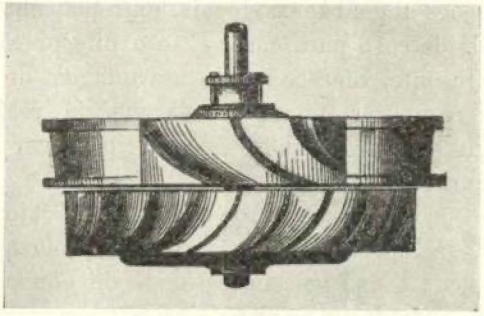


Fig. 4

conta-se a de *Jonval* (1841), fig. 4, também de reacção, mas já duma outra categoria, chamada de *turbinas axiais*, em virtude da direcção do escoamento, que se efectua segundo superfícies cilíndricas.

Êste sistema, remoto representante duma classe que foi ràpidamente excluída, para reaparecer mais tarde com a criação das rodas hélices, merece ser mencionado não só por êste facto como por ter sido o primeiro modêlo a que se aplicou o *tubo de aspiração* ou *difusor*, também chamado a princípio, em homenagem ao seu autor, de *jonvalização*, fig. 5.

Sem êste orgão, indispensável às instalações de reacção, deixam as turbinas de poder utilizar todo o desnível das quedas, desde que não sejam montadas na sua base, rasando com a secção de saída o nível de jusante, o que é quasi sempre impossível ou pelo menos económicamente difícil de conseguir.

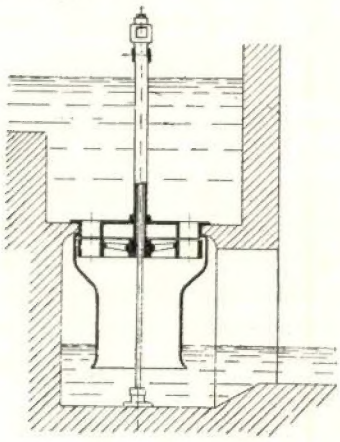


Fig. 5

A sua presença, pelo contrário, permite escolher pràticamente, para a turbina, sem perda de altura e dentro de certos limites, a posição da central que mais convém, de acôrdo com as condições topográficas locais, extremamente variáveis de caso para caso. E se o difusor alarga para jusante, oferece ainda a vantagem de permitir recuperar uma parte da energia residual da água — energia que é necessário prever para assegurar o escoamento.

No prosseguimento da evolução — cujos tópicos se apresentam, menos por preocupação histórica do que pela necessidade de enunciar e documentar desde já princípios de funcionamento indispensáveis a um estudo racional — aparecem agora os tipos baseados no *princípio de acção*, o mesmo princípio que na antiguidade tivera como exemplo a roda dos moinhos, e que mais tarde, no Séc. XV, chegou a ser aplicado pelo imortal artista e homem de ciência Leonardo da Vinci a certos engenhos hidráulicos.

Por êste princípio, tôda a energia potencial da queda se transforma em energia cinética no órgão fixo ou distribuïdor, deixando de haver qualquer aumento de velocidade no órgão móvel, cujos canais oferecem, para êste efeito, à passagem da corrente, uma secção constante.

A roda fica pois submetida pelas duas faces à mesma pressão.

Se esta pressão é igual à pressão atmosférica, as turbinas dizem-se de jacto livre e as suas rodas trabalham fora d'agua.

Pertenciam a esta categoria a *turbina Girard* (1863), axial como a anterior mas sem roda mergulhada, figs. 6, 7 e 8, e a antiga *turbina centrípeta de admissão parcial*, fig. 9, também

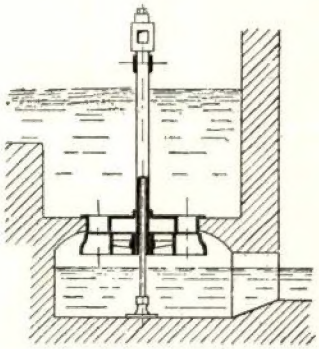


Fig. 6

chamada *turbina tangencial* por ser esta a direcção em que o seu orgão móvel, num sector apenas da periferia, recebia a acção da água.

A turbina Girard, como a Jonval de reacção, tinha o inconveniente comum aos tipos axiais de dificultar pela posição da sua roda as operações de fiscalização e de montagem; e obrigava ainda, como a centrípeta de acção, a sacrificar parte da altura de queda, para que o seu órgão móvel, que devia girar fora d'água, não fôsse atingido pelas cheias.

Êste inconveniente chegou a ser removido na *turbina limite* ou *de Fontaine*, compreendida entre as de acção e reacção, e que diferia das primeiras destas turbinas pelo perfil das pás da roda, fig. 10, cujo dorso se arqueava em saliência pronunciada, de modo a contornar os orifícios existentes na coroa exterior do órgão móvel, os quais, desembocando no ôco das pás, permitiam a entrada indirecta do ar para os canais e o funcionamento da turbina em regime de veia livre, até que, subindo o nível de jusante, a roda ficava mergulhada e a corrente passava a escoar-se

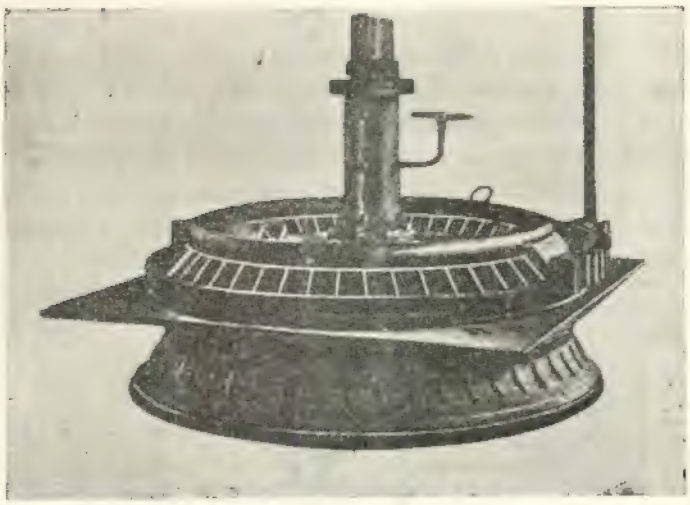


Fig. 7

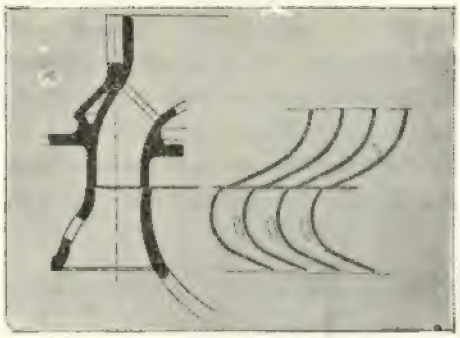


Fig. 8

em regime de reacção, sem que os jactos se descolassem das paredes dos canais.

A simplicidade de todos estes sistemas, há muito caídos em desuso, justifica as referências aparentemente longas que se lhes fazem, pela

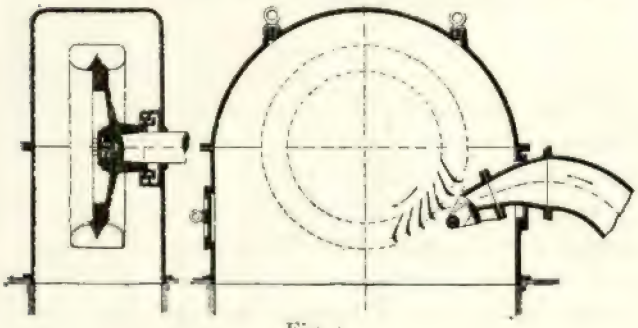


Fig. 9

razão de que êles exemplificam mais claramente do que qualquer dos sistemas actuais a aplicação dos princípios de que se trata.

Construtivamente, estes princípios são caracterizados pela forma dos perfis das pás indicada na fig. 11, em que, para melhor esclarecimento, se representa, também, o caso intermédio da turbina limite.

Dos dois princípios pode dizer-se que se equivalem e se completam.

Equivalem-se: visto que a reacção, tendo a seu favor a menor velocidade da água nos canais, obtida por transformações escalonadas da pressão no órgão fixo e no órgão móvel, compensa, com igualdade aproximada de perdas de atrito, a vantagem da acção, proveniente da forma mais favorável dos distribuïdores. E completam-se, por

Fig. 10

serem diferentes as ordens de grandesa dos caudais e alturas a que êsses princípios andam adstritos.

Só de permeio, entre as duas categorias, assim destinadas a diferentes condições naturais, haverá uma zona de possível sobreposição.

Mas de tôdas estas espécies de turbinas, caracterizadas por uma marcha muito lenta, nenhuma potência considerável se podia esperar,

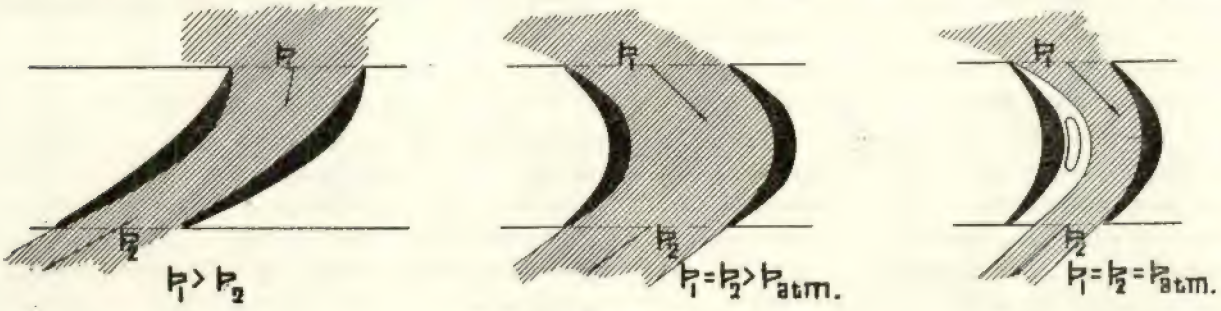


Fig. 11

desenvolvida por uma só unidade que não tivesse avantajadas proporções. A-pesar disso, porém, não deixaram algumas delas, nomeadamente as axiais, de retardar na Europa, pela voga que lhes dispensaram, a adopção de outros modelos já por êsse tempo mais conceituados no continente americano e que provinham, de certo modo, dum tipo de reacção que falta considerar ainda — o *tipo centrípeto ou turbina radial.*

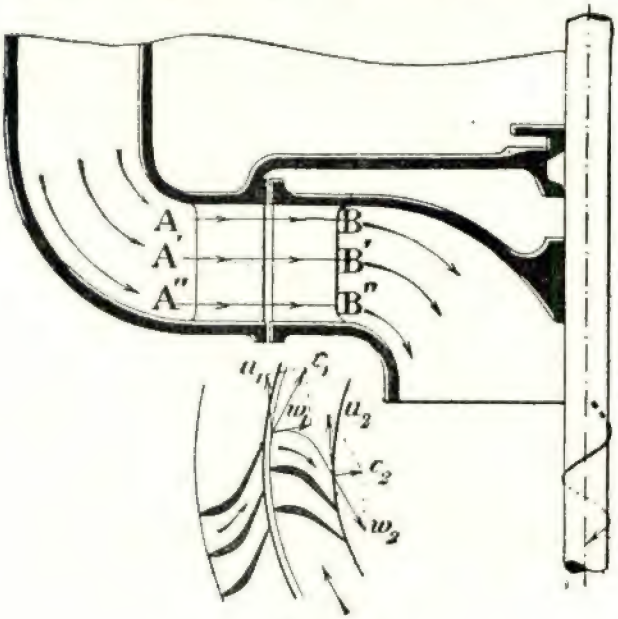


Fig. 12

Neste tipo, fig. 12, em que a roda, circundada pelo distribuïdor, apresentava canais estreitando igualmente para a saída, repartia-se de novo pelos dois órgãos, como nas primeiras soluções de Fourneyron e de Jonval, a transformação da pressão em velocidade.

Inicialmente imperfeito, o tipo de reacção centrípeto não apresentava ainda, em relação aos modelos anteriores, sensíveis vantagens de rendimento, devido aos turbilhões provocados pela confluência de jactos desaguando de canais orientados em sentidos opostos.

Todavia, foi dêsse tipo, corrigido pela combinação com o sistema axial, que proveio a importante categoria das actuais *turbinas mixtas do sistema Francis* (1849), em que a água entre na roda radialmente, como nas primeiras, e sai axialmente, como nas segundas, fig. 13.

Conseguia-se dêste modo, sem qualquer sacrifício da altura de queda, a admissão total em receptores de roda inundada, à saída da qual, sem variações bruscas de secção, era possível adaptar fàcilmente o difusor, constituindo o natural prolongamento da turbina para o nível de jusante. Muito apropriadas, àlém disso, para fáceis operações de montagem, ofereciam sobretudo, como se verá, a superioridade duma configuração especialmente predisposta para futuras diminuïções do diâmetro da periferia e correspondentes aumentos de velocidade.

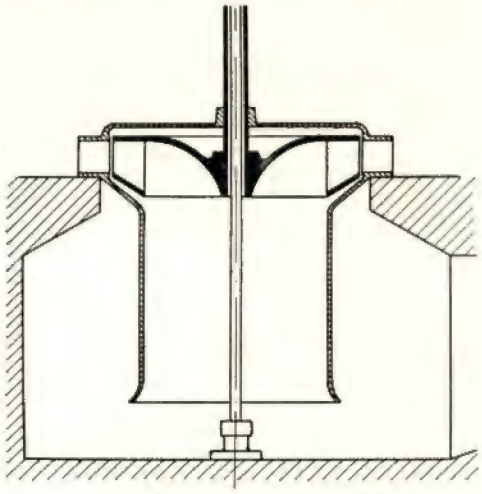


Fig. 13

Algum tempo depois, e ainda no continente americano, apresentou Pelton (1880) a sua turbina de acção e admissão parcial, fig. 14.

As pás do órgão móvel desta turbina, distribuídas pela periferia dum disco, eram formadas pela reünião, segundo uma geratriz, de dois corpos cilíndricos, limitados de tôpo por um plano oblíquo.

Fig. 14

Esta forma pouco favorável, assim como a do distribuïdor, já constituído, como nos modelos actuais, por uma tubeira, mas imprópria ainda para dar uma variação progressiva do caudal, experimentaram bem depressa aperfeiçoamentos importantes que vieram conferir a êste sistema os bons rendimentos exigidos pela unidade que

se requeria para as quedas elevadas, como complemento dos modelos Francis de reacção.

Entretanto, a própria intervenção do factor económico que de princípio havia retardado a evolução destas máquinas, seleccionando-as agora com a adopção definitiva do tipo de acção Pelton e da reacção Francis, veio impor-lhes, por via da estreita relação com a electrotecnia, um desenvolvimento mais rápido, procurando satisfazer a dupla condição de melhorar rendimentos e baixar preços de instalação.

Conseguir o máximo com o mínimo dispêndio foi mais uma vez nos domínios da técnica, empenhada em aproveitar as fôrças naturais, o princípio de todo o desenvolvimento; mas princípio em que parece haver uma contradição, pois que melhorar rendimentos significa acentuar a tendência de concentrar potências cada vez maiores em unidades de proporções crescentes e de mais apurada construção, e, por outro lado, custos de instalação mais diminutos envolvem a ideia duma construção menos esmerada e impõem a obrigação de reduzir as dimensões das máquinas, pelo aumento da sua velocidade.

Esta contradição, porém, é apenas aparente, já por que o aumento da velocidade favorece a concentração das potências, já por que ambas as condições visam o fim único de melhorar a produção de energia, baixando o preço do «Kilowatt».

Acresce que a concentração da energia em grandes unidades favorece a simplificação dos serviços e reforça as garantias de segurança da marcha, além de facilitar o transporte da corrente eléctrica a distância.

*
* *

Como sistema especìficamente [1] mais lento e de menor capacidade de admissão entre os que a prática seleccionou, a **roda Pelton**, fig. 15, aplica-se a grandes alturas, providas em regra pela natureza de caudais relativamente pequenos.

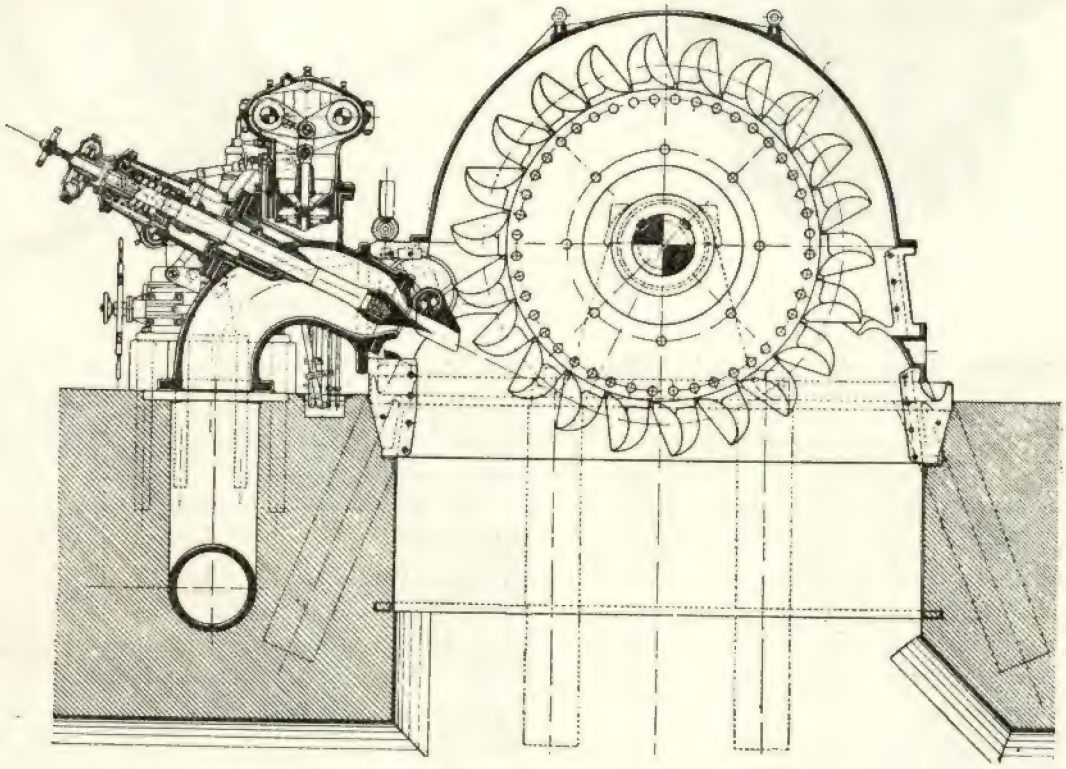


Fig. 15

O problema da velocidade não oferece neste caso nenhuma dificuldade, visto que o número

[1] Mais tarde se dará o significado dêste qualificativo, cujo conhecimento exige noções ainda por contrair.

de rotações da roda, proporcional à raiz quadrada da altura de queda, é então já de si elevado, e mais certo será ter de o restringir, por aumentos de diâmetro do órgão móvel, que de o aumentar.

Na sua constituïção definitiva, a roda apresenta, como no tipo originário, uma coroa de pás distribuídas pela periferia dum disco, fig. 16. Simplesmente, em vez de cilíndricas, as pás apresentam agora a forma mais favorável de dois meios elipsóides unidos, no plano médio da roda, segundo uma linha — a aresta média das pás, cujo ponto extremo ou vértice é o primeiro, em cada rotação, a ser atingido pela água; — depois, à medida que as pás entram no sector de ataque, o jacto é dividido por essa aresta e escoa-se em dois ramos que se encurvam e ajustam aos côncavos da pá, cedendo à roda, sob a forma de energia mecânica, a energia cinética adquirida no distribuïdor, à custa da pressão correspondente a tôda a altura de queda.

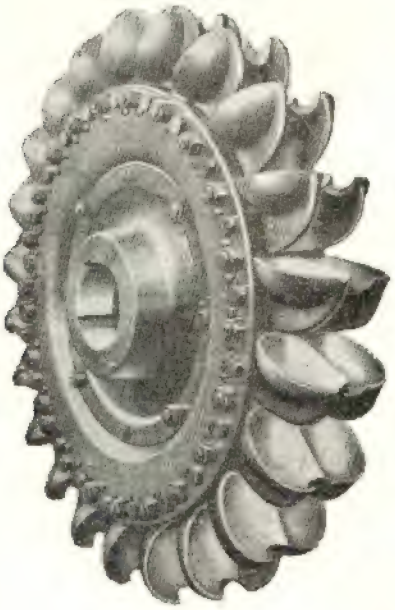


Fig. 16

Por sua vez o distribuïdor, fig. 17, aplicado ao extremo da conduta forçada, é muito lògicamente um corpo de revolução convergindo no sentido da corrente e tendo no interior uma peça terminada em ponta, a agulha, que se pode mover longitudinalmente para regular a saída da água, até à obturação completa da turbina.

A boa constituïção dêstes órgãos, mais ainda do que a forma aliás muito apropriada das conchas, justifica a superioridade das Pelton sôbre os sistemas congéneres.

Provocando, com efeito, um mínimo de atritos, devido à sua pequena extensão, êstes distribuïdores apresentam uma perfeita simetria em tôrno do eixo do jacto, ao qual fazem affuir tôda a água sem possibilidade de fugas, obrigando-a a tomar uma forma cilíndrica e unida, qualquer que seja a posição da agulha, ao efectuar, como órgão de regulação, a variação progressiva e regular da secção terminal da tubeira; e oferecem ainda a vantagem da simplicidade de execução e facilidade de manobra.

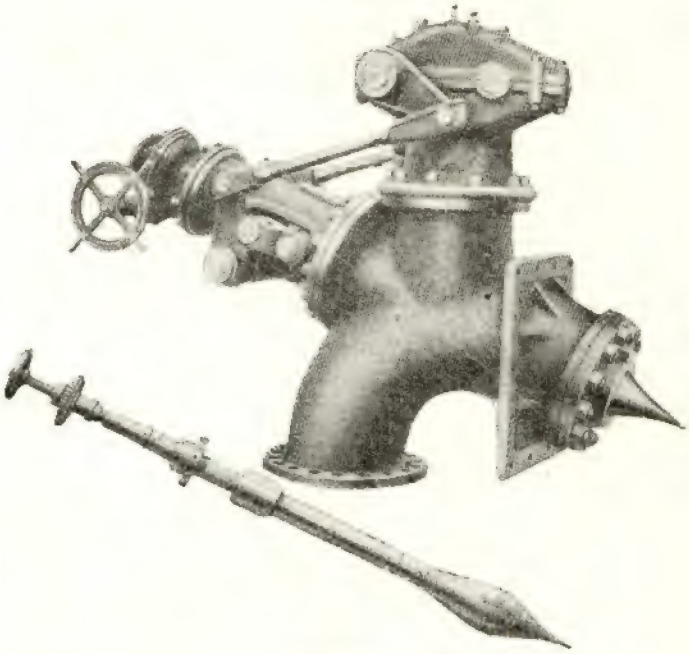


Fig: 17

Deixando a região das maiores alturas, entra-se no domínio das **turbinas Francis,** destinadas ao aproveitamento de tôdas as restantes condições naturais — muito diversas entre si. Por isso o problema da adaptação das rodas não foi aqui tão fácil como no caso anterior e só imperfeitamente, com soluções por vezes menos especìficamente apropriadas, pôde ser resolvido por esta categoria de turbinas, a-pesar-da sua subdivisão em três tipos — *estreito, normal e largo* — aplicáveis por esta ordem a condições decrescentes de altura e crescentes de caudal.

A tôdas estas turbinas porém é comum a constituïção geral da roda, formada de um conjunto

de pás de superfícies torsas e fixadas entre duas coroas, uma das quais constitue com o bôrdo de jusante o perímetro da secção circular de saída, apresentando a outra o aspecto dum disco, cuja parte central tivesse sido repuxada no sentido da corrente, depois de reforçada num cubo para a ligação com o veio.

A *roda Francis lenta ou estreita,* fig. 18, caracterizada por uma secção de saída sensìvelmente mais recolhida que a periferia de entrada, é o órgão móvel dum tipo de turbina, fig. 19, que se aplica logo a seguir à roda Pelton no escalonamento progressivo das alturas e dos caudais e que, do mesmo modo que esta roda, resolve sem qualquer dificuldade o problema das rotações.

A configuração da roda, cujos canais estreitam muito ligeiramente para a saída, originando um pequeno grau de reacção, mostra, pelo contrário, que se teve em vista modificar o tipo normal pelo aumento do diâmetro da periferia de entrada

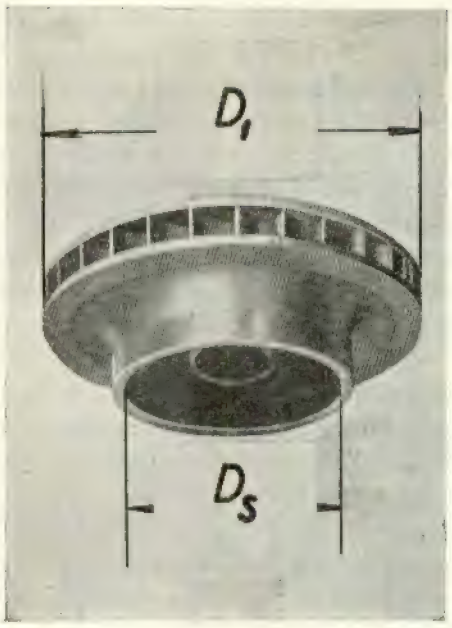


Fig. 18

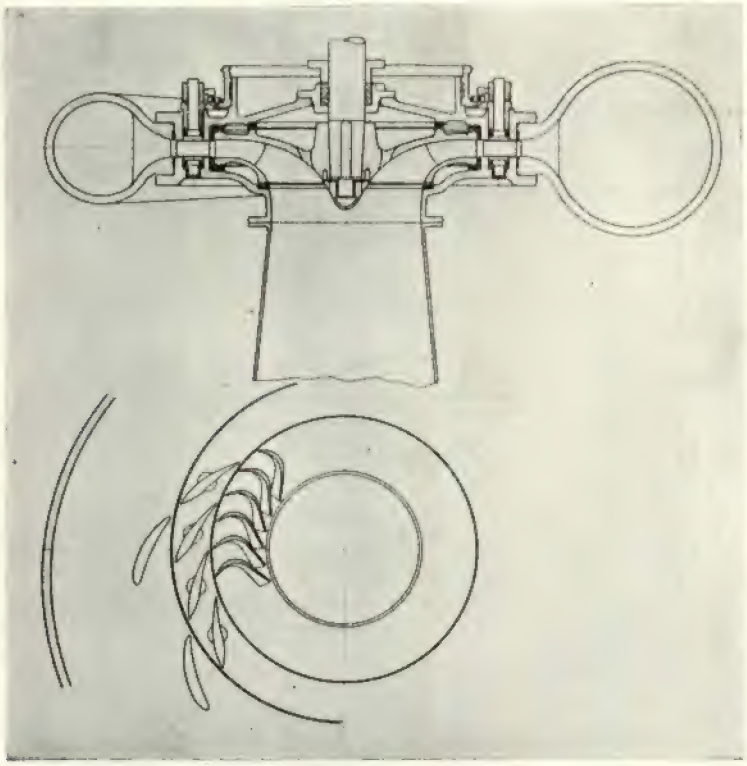


Fig. 19

e diminuïção da altura dos canais, com o fim de moderar velocidades e restringir admissões, adaptando a turbina ao escoamento de pequenos volumes d'água sob grandes alturas.

Onde o problema das rotações pode começar a merecer certa atenção é na zona dos desníveis e caudais médios a que se aplica a *roda normal,* fig. 20.

Nesta roda, em relação à qual deixa de haver a preocupação de moderar a velocidade como no caso anterior, localizam-se as arestas de entrada numa periferia que pouco difere, quanto a diâmetro, da secção de saída e acentua-se pelo estreitamento dos canais, mais pronunciado que nas rodas lentas, o grau de reacção.

Nos casos mais desfavoráveis das referidas condições ou já na transição para quedas de menor altura, pode persistir-se ainda na aplicação dêste tipo, por mais simples e de fácil construção, mediante uma multiplicação de velocidade por transmissão de engrenagens ou de correia, fig. 21, de preferência a introduzir alterações na configuração da roda, tendentes a acelerar-lhe a marcha.

Para as quedas baixas é que o problema se agrava e deixa de poder ser resolvido sem essas alterações.

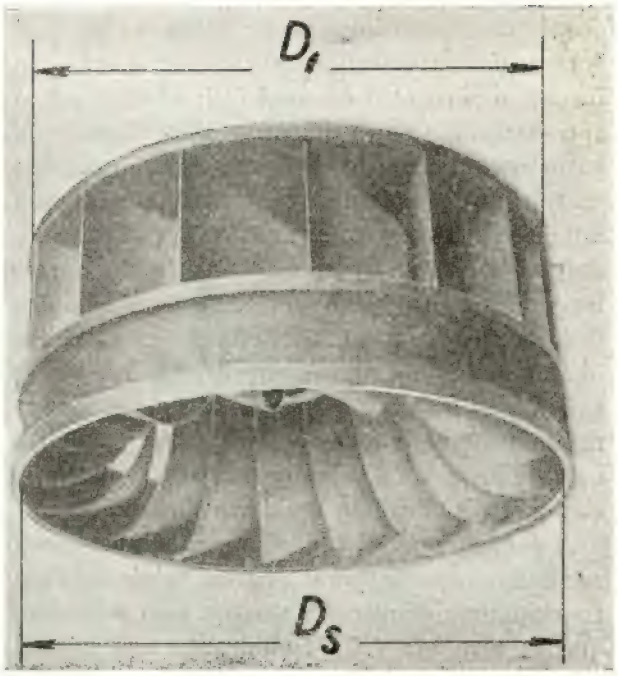


Fig. 20

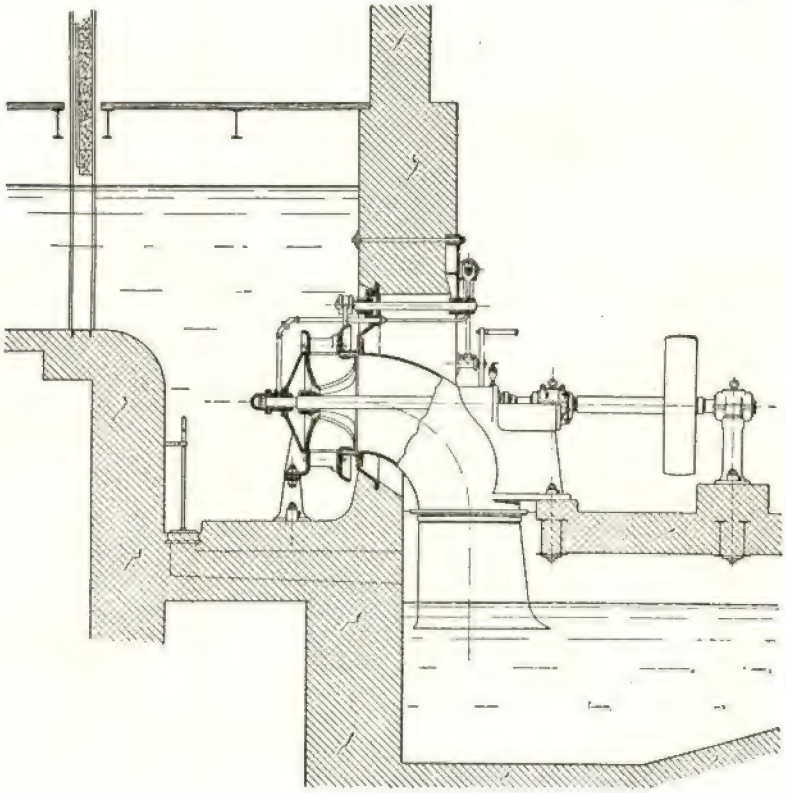


Fig. 21

Nessa zona a velocidade tende, com efeito, a tornar-se muito moderada e para o evitar reduz-se o diâmetro da periferia da roda sem todavia sujeitar a secção de saída a igual variação, para não limitar a capacidade de escoamento já afectada pela diminuïção do desnível; — assim

como, aumentando o caudal e não variando a altura, será necessário alargar a secção de saída sem alterar o perímetro de entrada, para que a velocidade não venha a diminuir.

Qualquer destas variações conduz à configuração da *roda larga* ou *de marcha rápida,* fig. 22, cujos canais estreitam mais ainda para a saída do que no caso anterior, acentuando o grau de reacção.

As respectivas turbinas, fig. 23, recebem êsses mesmos nomes — e ambos êles se justificam: o primeiro porque designa maior capacidade de vazão que no caso da roda normal da mesma periferia de entrada, e o segundo porque, em relação à roda dêste tipo mas de igual secção de saída, indica um modêlo especìficamente mais rápido.

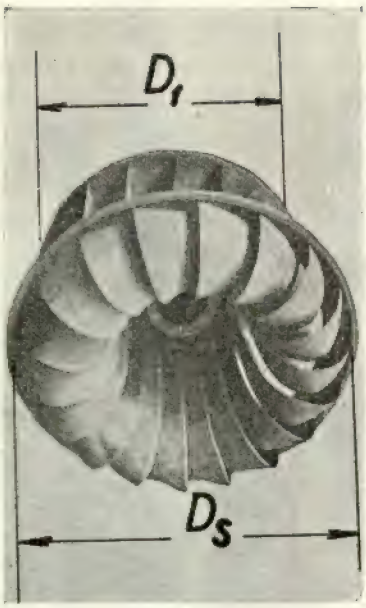


Fig. 22

A turbina de reacção — uniformizada na sua constituïção geral pela solução das rodas Francis, apesar da diversidade de tipos em que esta

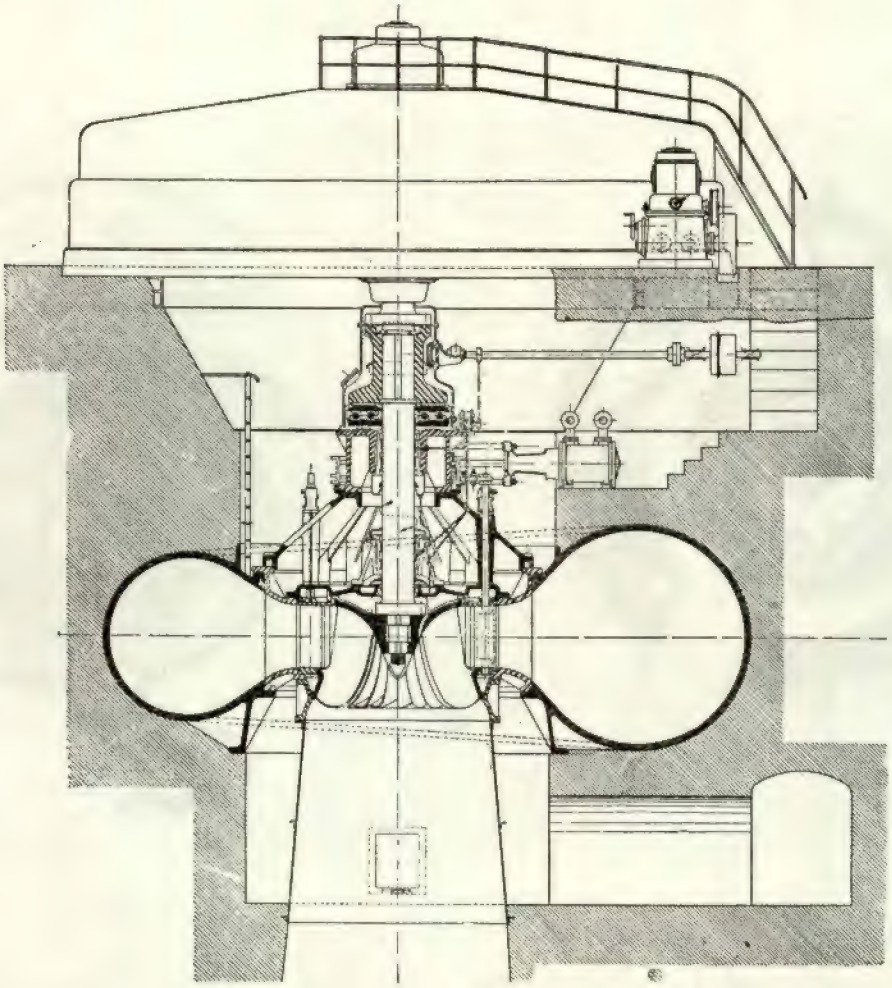


Fig. 23

solução se subdivide — incluía primitivamente um tipo de distribuïdor entre cujas faces, de perfil convergente, o caudal era dividido em jactos por cortina cilíndrica, movendo-se axialmente por dentro ou por fora dessa coroa.

As deficiências da regulação fizeram excluir

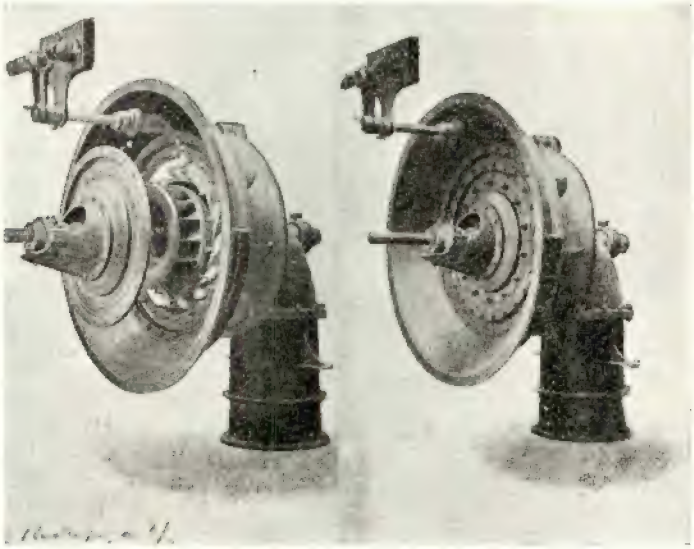


Fig. 24 Fig. 25

Fig. 26

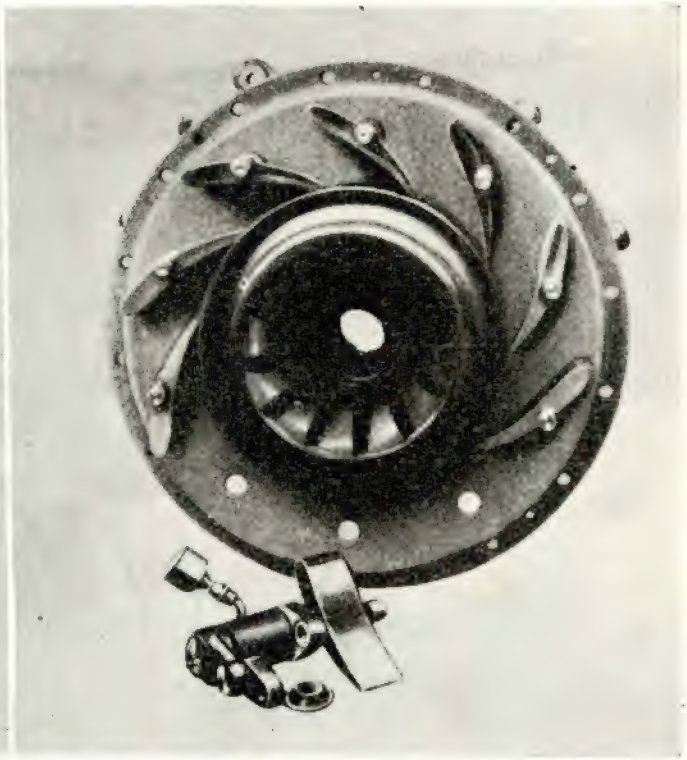


Fig. 27

uma coroa de pás fixas e duma só peça com essas faces, sendo a regulação feita por meio duma

êste sistema, e hoje adopta-se o tipo de distribuïdores de faces planas e paralelas, entre as

quais já as pás, de peças separadas, podem girar em tôrno de eixos próprios e fazer variar individualmente, com mais regularidade, a secção dos jactos em que o caudal se divide.

O interior da turbina assim constituído está representado no exemplo da fig. 24, em que se deslocou axialmente a tampa de apoio da chumaceira principal do veio, que na fig. 25 se encontra já na sua verdadeira posição, ligada ao aro exterior de montagem e de fixação do conjunto, cujo contôrno fica embebido no muro de separação entre a casa das máquinas e a câmara da turbina.

Em vez de pás atravessadas por eixos e obrigadas a fortes espessuras, emprega-se mais vantajosamente o sistema de eixos reduzidos a dois simples moentes, figs. 26 e 27, ou mesmo a um só (pás de tôpo) e formando com as pás uma só peça.

As pás, diminuindo de espessura, podem então adquirir um perfil pisciforme e recebem do moente de um dos lados, caso sejam dois, ou do moente único, prolongado para fora dos canais, através da tampa do distribuïdor, o movimento de rotação que lhes é comunicado por um jôgo de alavancas e tirantes, sob a acção do comando automático dum servo-motor ou da manobra manual dum volante.

Retomando a evolução das rodas: — havia-se chegado com o tipo Francis largo a um modêlo para àlém do qual a redução da altura e o aumento do caudal impunham alterações mais importantes do que as que tinham originado aquêle tipo.

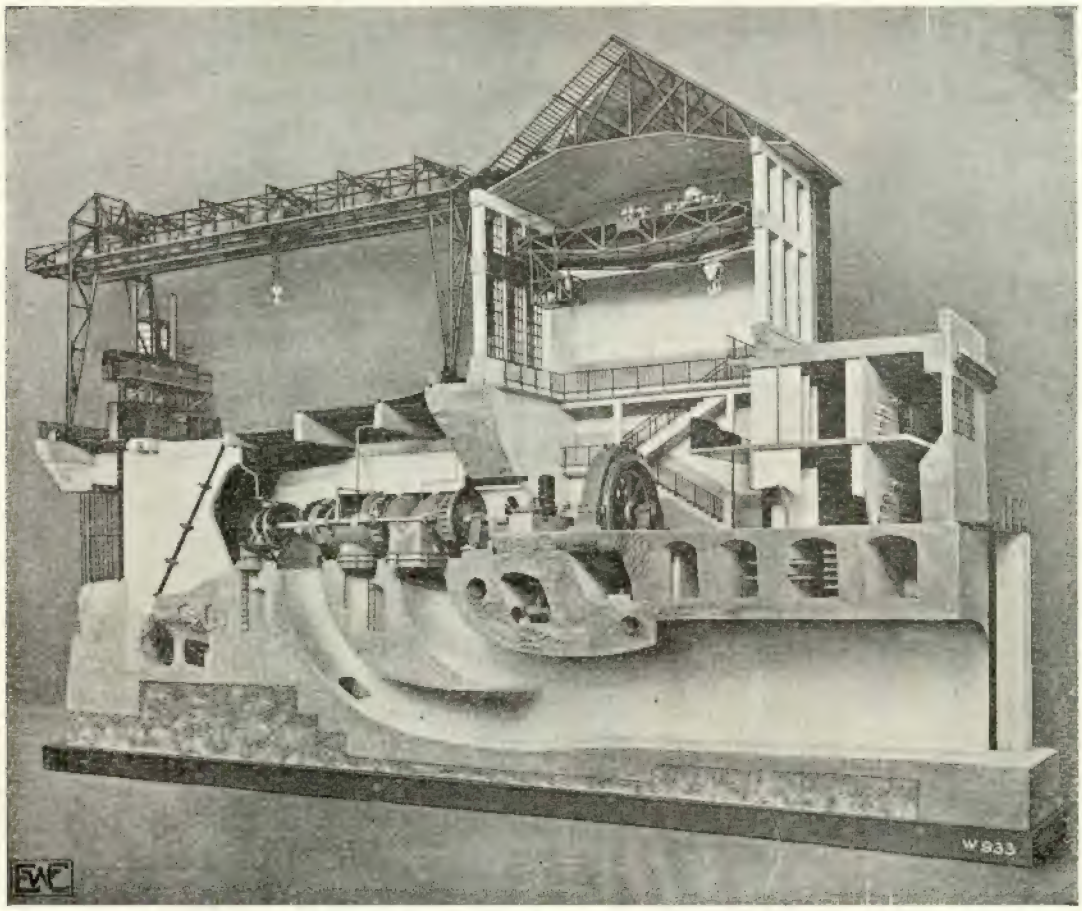


Fig. 28

Mas estas inovações não foram encontradas de pronto, e por longo tempo ainda, para resolver o problema nos casos mais difíceis das maiores admissões e menores desníveis, não houve outro

meio senão recorrer ao emprêgo das *turbinas múltiplas,* formadas pela reünião de várias

Fig. 29

rodas no mesmo veio, como se pode ver no exemplo típico da Central de Augst, representada no modêlo em corte da fig. 28.

Mas caso curioso: êste resultado não foi atingido por se ter procurado melhorar directamente a velocidade das rodas, mas por se pretender aumentar o seu rendimento à custa da redução dos atritos da corrente.

Nos ensaios então realizados com êste objectivo tratou-se de diminuir a extensão dos canais, retirando porções sucessivamente crescentes do corpo das pás por meio de cortes cada vez mais reentrantes, efectuados a partir da periferia.

E observou-se o que teria sido de prever, que o número de rotações da roda subia, mas que os atritos — proporcionais embora à velocidade relativa da água, cujo valor tinha crescido com o número de rotações — não deixavam de baixar, devido à redução dos trajectos. Tão pouco se notou que sobreviesse qualquer prejuizo ao escoamento, por falta de condução da

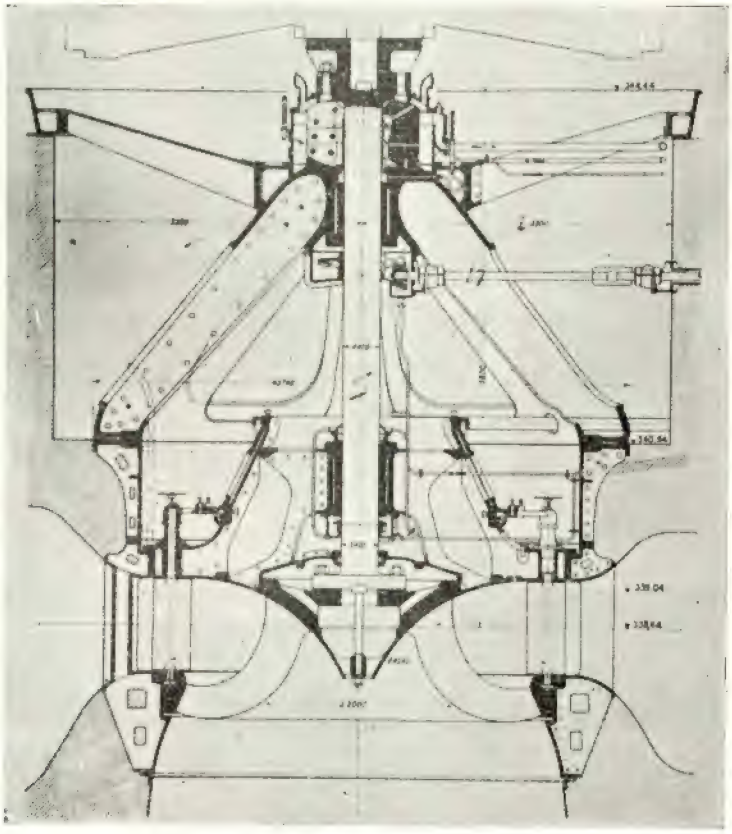


Fig. 30

Só depois dos trabalhos do prof. Dubs, de Zurique, foi possível dar seguimento à evolução de continuar a recolher as arestas de entrada sem diminuir correspondentemente a secção de saída.

corrente no intervalo considerável que passou a interpor-se entra a saída do órgão fixo e a entrada do órgão móvel: pelo contrário, a experiência mostrou, em desacôrdo com as

opiniões clássicas, que a água adquire nesse intervalo uma certa liberdade de movimento, muito favorável, depois, para a incidência na roda.

Das rodas pròpriamente mixtas derivaram assim as *hélico-mixtas,* figs. 29 e 30, de arestas de entrada tão recolhidas e inclinadas e de configuração tão semelhante à das arestas de saída que a admissão da água, considerada em alçado, deixa de ser radial como nas rodas mixtas, para se aproximar da direcção axial das rodas hélices.

Fig. 31

A própria designação hélico-mixta, se por um lado lembra a configuração original, prenuncia já por outro a futura roda-hélice, que importava criar ainda, como termo mais rápido e de maior capacidade de admissão, destinado às quedas de mínima altura e máximos caudais.

Mas para tanto, foi necessário pôr de parte o preceito de não exagerar a velocidade restante, que se respeitava então como regra categórica de não prejudicar os rendimentos, na suposição de ter de se dar por perdida, senão tôda, pelo menos a maior parte da energia da corrente ao abandonar a roda.

Avisadamente se considerou neste passo que uma recuperação activa dessa energia, efectuada pelo difusor, podia resolver o problema, anulando o efeito de perda das elevadas velocidades de saída.

A experiência veio confirmar esta previsão com recuperações da ordem dos 40–50 % da energia total da queda, obtidas com o emprêgo de difusores de forma apropriada, cuja acção a hidráulica ainda até hoje não explicou satisfatòriamente.

Neste novo caminho, livre de preconceitos, acabaram as arestas de entrada, de recolhidas que foram, por se converter em rectas ou quási rectas, partindo radialmente dum cubo, fig. 31, em volta do qual se oferece à passagem da corrente um espaço de secção em coroa circular, limitado na periferia pelo corpo cilíndrico de ligação da tampa de jusante do distribuïdor com o tubo de aspiração. E, simultâneamente, eliminou-se a coroa exterior da roda que dêste modo adquiriu mais exactamente a configuração duma hélice, através da qual o escoamento passou a fazer-se axialmente.

Daqui o nome de **rodas hélico-axiais** dado a êste sistema que ocupa no quadro geral da classificação das turbinas ou das condições naturais a que elas se aplicam, o extremo oposto ao das rodas Pelton.

Reeditava-se assim o emprêgo das turbinas axiais mas sob princípios inteiramente novos, que nada tinham que ver com os da primitiva turbina de Jonval. Mas mesmo em relação aos últimos modelos não deixava o seu modo de funcionamento de ser também inteiramente diverso.

Tanto se havia reduzido a extensão das pás no sentido da corrente e o seu número, com o fim de favorecer o rendimento pela diminuïção dos atritos, que já os espaços entre elas haviam perdido o carácter celular próprio dos canais: as pás deixaram assim de obedecer ao princípio clássico da condução forçada, para servirem de simples superfícies de orientação e absorverem a energia da corrente ao desviarem-na para a direcção axial de saída.

Mas nesta direcção, devido à secção constante que se oferece, em volta do cubo, à passagem da água, a velocidade não sofre qualquer alteração; e, como o seu valor não pode deixar de ser elevado, por serem relativamente grandes os caudais, importa que se activem as recuperações da energia residual.

Só assim foi possível aumentar a admissão em tipos de rodas mais rápidos e por isso especìficamente adequados a quedas de mínima altura.

Mas a evolução não se deu por terminada com a criação dêste sistema.

Se a hélice satisfaz às condições de velocidade e de capacidade de absorpção, já o mesmo não

acontece no que respeita ao rendimento, cujo valor, fora das proximidades da carga completa, é muito inferior ao das Francis.

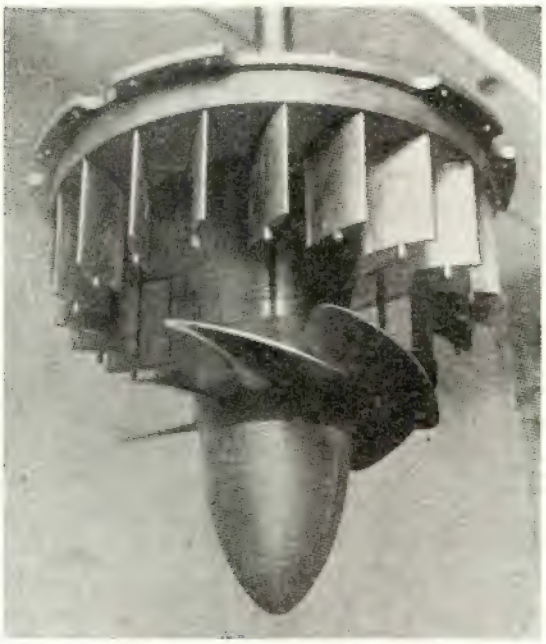


Fig. 32

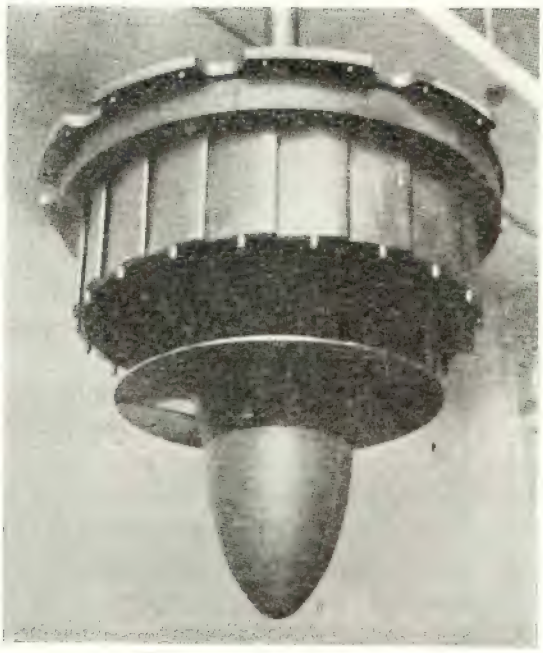


Fig. 33

Foi então que para o melhorar surgiu a concepção de *Kaplan* (1912) de tornar móveis as pás da roda, com o fim de lhes assegurar a posição mais favorável em relação à posição momentânea das pás do distribuïdor.

As figs. 32 e 33 representam uma turbina

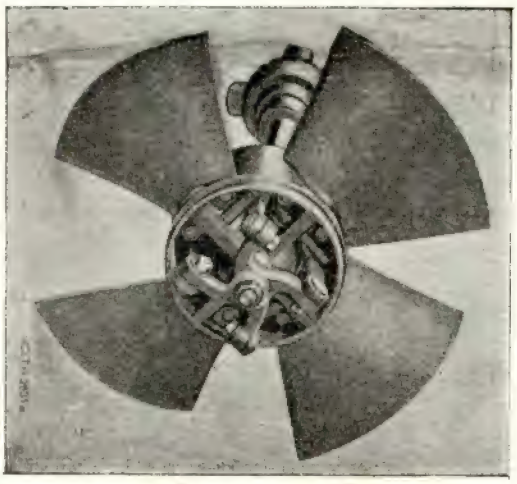


Fig. 34

dêste género e mostram o conjunto dos dois órgãos com as pás na posição de máxima abertura e na posição fechada.

O movimento da regulação é transmitido às pás da roda pelos respectivos moentes alojados na espessura do cubo, fig. 34, e articulados

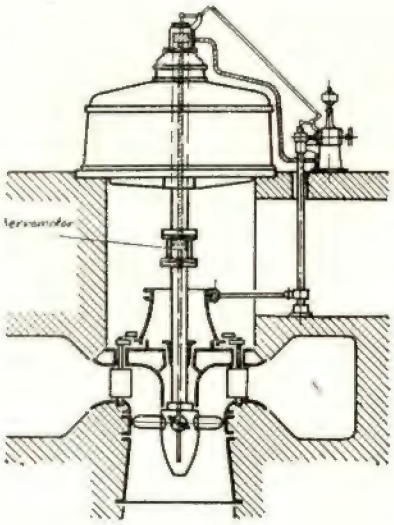


Fig. 35

por um jôgo de alavancas à extremidade duma haste que se dispõe no interior do veio ôco e é comandada, fig. 35, por um servo-motor duplo:

— duplo, para comunicar às pás da roda e do distribuïdor rotações rigorosamente conjugadas.

E é precisamente desta combinação de movimentos que resulta a grande vantagem das Kaplan de poderem manter excelentes condições de escoamento durante quási todo o período da regulação e de só a cargas muito reduzidas, de menos de um quarto ou um quinto da potência máxima, acusarem diminuïções sensíveis de rendimento.

A fig. 36 representa o corte axial duma turbina Kaplan de grande potência, no conjunto da sua instalação.

À direita aparece o perfil, no plano de corte, da câmara deixada em vasio no massiço de cimento da central para a condução da água ao distribuïdor. A face superior dêste órgão, com forma plana por tôda a coroa de canais fixos, encurva-se na parte central para descer — com a forma aproximadamente cilíndrica em que serve de apoio à chumaceira de guiamento inferior do veio — até à concordância exacta com o cubo da roda, limitando assim, juntamente com a face inferior que também se encurva para a ligação com o difusor, o espaço interposto entre as coroas de pás dum e doutro órgão. Essa face serve ainda para formar o piso duma câmara

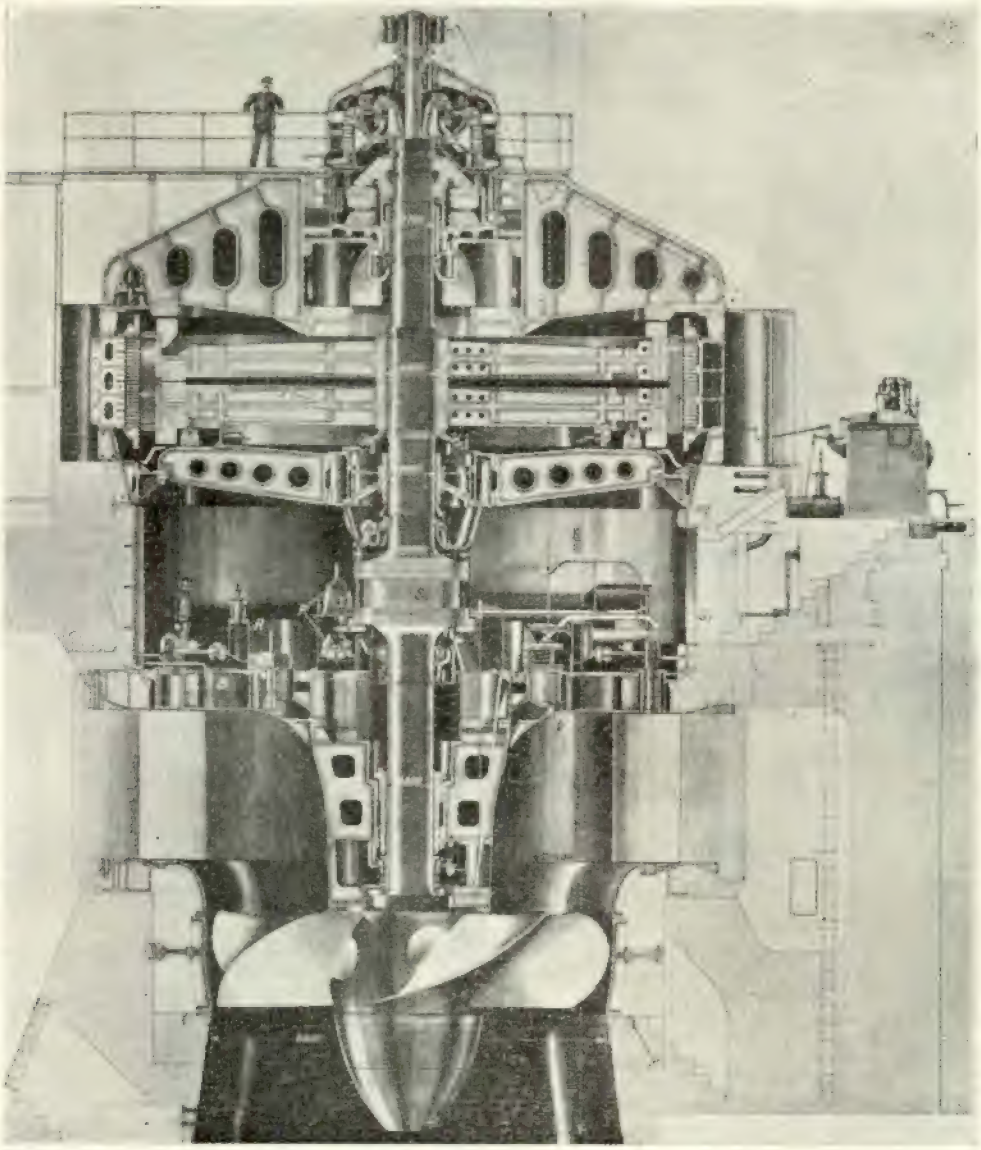


Fig. 36

Fig. 37

subjacente ao alternador, que se destina a facilitar a acessibilidade aos órgãos da turbina.

A carcassa da máquina eléctrica suporta o dispositivo de suspensão e guiamento superior do veio, ao qual se oferece ainda, entre o «rotor» dessa máquina e a câmara de acesso, um guiamento intermédio.

Deve mencionar-se ainda, com o fim de completar esta relação de tipos de turbinas, a *roda Lawaczeck*, fig. 37, de pás fixas, saindo obliqùamente dum cubo central e voltando a convexidade para montante, ao contrário de todos os outros modelos.

Êste sistema, destituído de coroa exterior como as hélices, pode ser considerado como um caso limite da roda hélico-mixta, promovendo um escoamento cónico ou diagonal como transição para os axiais.

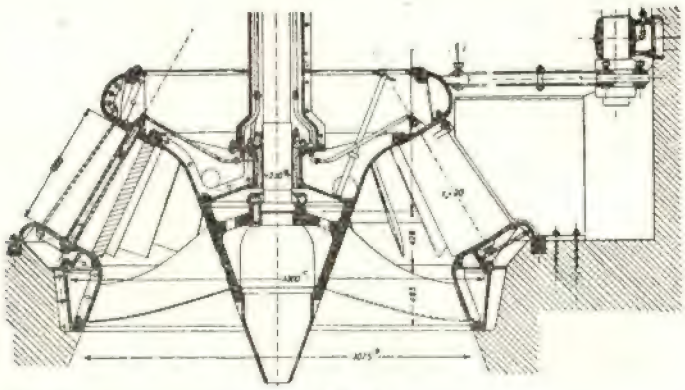


Fig. 38

Mas êsse qualificativo pode exigir, com mais rigor, que o escoamento oblíquo se faça também no órgão fixo, fig. 38.

O escoamento diagonal é superior ao escoamento mixto por oferecer à corrente trajectos menos sinuosos e não exigir, em igualdade de potência instalada, tão grandes câmaras d'água. Se o seu emprêgo não se generalizou, foi devido

à constituïção especial do distribuïdor cujas pás, devendo girar em tôrno de eixos convergentes num ponto do eixo da turbina, só podem evitar fugas de água importantes e particularmente sensíveis nas admissões reduzidas, quando limitadas de tôpo por superfícies ajustadas a calotes esféricas de centro naquele ponto — o que dificulta consideràvelmente a execução e encarece o fabrico.

*
* *

De todos os sistemas de receptores, cuja relação acaba de ser apresentada, ficaram subsistindo para as aplicações reais a roda Pelton, as Francis e a turbina hélice, incluindo nas duas últimas categorias os modelos derivados e afins.

A ordem apontada corresponde, dum modo geral, à diminuïção da altura de queda; — mas fixar limites numéricos de altura para cada um dos sistemas, não é racionalmente possível, visto que o seu emprêgo está por egual dependente dêsse parâmetro e do caudal, sendo ainda função do número de rotações, que na maioria dos casos é imposto por condições de transmissão e de serviço.

Sob esta reserva e a título de simples indicação, apresenta-se todavia o limite inferior de 100–200 m para as primeiras e o limite superior de 10–15 m para as últimas.

Podem suprir-se porém estas indicações, necessàriamente insuficientes, por um critério derivado da teoria da similitude, que permite uma coordenação interessante e muito cómoda dos vários sistemas pela simples referência duma grandeza — *o número de rotações específico* — independente das dimensões das rodas e que para cada categoria de modêlos toma valores compreendidos entre determinados limites.

«Número de rotações específico duma turbina é o número de rotações, referido ao minuto, da unidade geomètricamente semelhante que desenvolve a potência de um CV, trabalhando sob a altura de um metro.»

Esta grandeza liga-se com o número de rotações efectivo, n, pela expressão

$$n_s = \frac{n}{H}\sqrt{\frac{N}{\sqrt{H}}}$$

que para H = 1 m e N = 1 CV dá efectivamente $n_s = n$. Duas rodas de dimensões quaisquer mas geomètricamente semelhantes têm o mesmo n_s, visto que admitem como têrmo de comparação a mesma roda específica.

A fórmula anterior estabelece para os diferentes tipos de turbinas a seguinte escala de valores:

$1 < n_s <$ 30 Pelton de uma roda com um jacto
$50 < n_s <$ 350 rodas mixtas (Francis)
$350 < n_s <$ 550 rodas hélico-mixtas
$550 < n_s \sim$ 1000 rodas hélices

e, pelo confronto com esta escala, permite definir o tipo de unidade a aplicar às condições naturais de uma queda.

Êste quadro põe ainda em evidência, de certo modo, a superioridade das hélices e justifica o nome de rodas rápidas e lentas dado respectivamente às rodas largas e estreitas do sistema mixto, para as quais o valor de n_s se aproxima do limite inferior e superior dessa categoria.

*
* *

Antes do aparecimento dos tipos hélico-mixtos e hélico-axiais houve necessidade de aumentar a capacidade de admissão dos receptores, sem contudo lhes ampliar as dimensões, para não prejudicar a velocidade—e para êsse fim recorreu-se, como já se disse, ao emprêgo das turbinas múltiplas, isto é, de mais dum órgão móvel montado no mesmo veio.

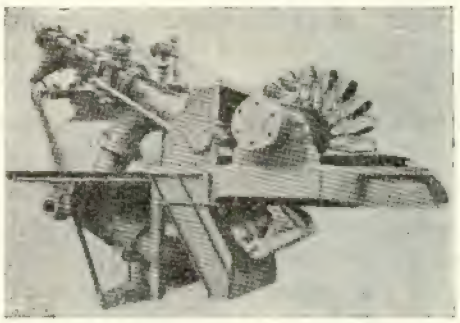


Fig. 39

Abre excepção a esta regra a turbina Pelton que para ser múltipla não precisa de mais de uma roda, bastando que sôbre ela incida mais de um jacto, como no caso da turbina dupla da fig. 39.

Tratando o problema na sua forma mais geral, se para a mesma potência N e a mesma altura H se reparte o caudal duma turbina por K unidades do mesmo número de rotações n — conclue-se da expressão anterior que o valor específico n_s destas unidades vem dividido pela $\sqrt{K}$ e que o novo tipo de rodas é $\sqrt{K}$ vezes mais lento que o proposto.

Seria o caso, para fixar idéias, de passar, por exemplo, duma Francis normal para rodas estreitas ou duma Francis larga para rodas normais ou, finalmente, duma hélice para rodas largas — o que representaria uma regressão no regime de marcha.

substituïção o número de rotações efectivo n tenha diminuido.

Isto equivale a dizer que se a turbina única, conservando a sua configuração, diminue de proporções até admitir, sob a mesma altura, o caudal de cada uma dessas quatro turbinas, terá levado o número de rotações n a duplicar.

O que se deixa exposto dá o sentido da variação que se opera ao passar do tipo mais lento, representado pela roda Pelton, para os sucessivos sistemas Francis, estreito, normal e largo, e dêste último para a roda hélico-mixta, como têrmo de passagem para a hélico-axial; e mostra ainda como, à falta de representante duma uni-

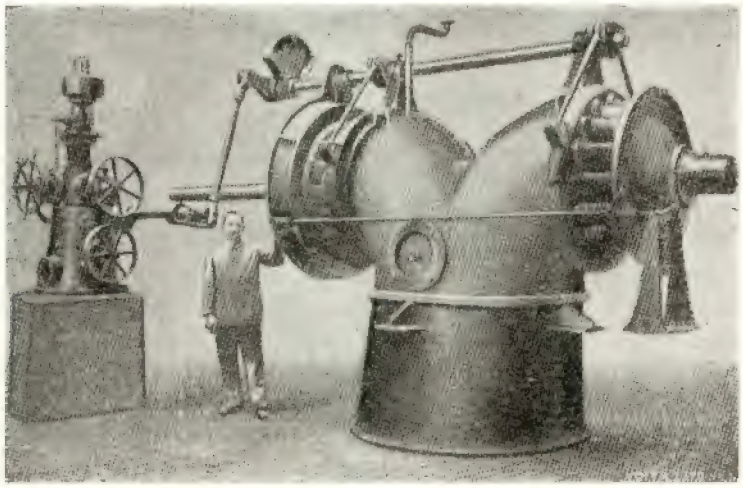


Fig. 40

Um tal desdobramento só em casos particulares de caudais muito variáveis pode ser oportuno, para evitar baixas de rendimento de unidades mais rápidas e de maior potência trabalhando a cargas reduzidas.

Vantajosa é, pelo contrário, a concentração das potências e neste caso, inverso do anterior, a turbina única, capaz de escoar o caudal de K unidades e perfazer sob a mesma altura o mesmo número de voltas, terá um número de rotações específico $\sqrt{K}$ vezes maior que o dessas unidades.

Com $K=4$, por exemplo, n_s duplica — e uma turbina de uma só roda que satisfaça a esta condição e dê escoamento ao caudal de quatro unidades, terá conseguido, como se depreende ainda da fórmula, quadruplicar a potência em relação a cada uma dessas unidades sem que numa tal

dade simples, a zona de n_s compreendida entre 30 e 50, pode ser preenchida pelas Pelton múltiplas e mesmo ultrapassada, como sucede quando, para atingir $n_s = 60$, se aplicam a uma mesma roda quatro injectores.

Igualmente se compreende que as hélices dominem hoje por completo o problema das baixas quedas, providas, em regra, de caudais abundantes, e que só a razão económica de evitar encargos de novas instalações, modernizadas, tenha obstado ainda a que elas substituam definitivamente as turbinas múltiplas.

Persiste-se contudo na aplicação das Francis duplas de veio horizontal, por não exigirem como as suas congéneres verticais e tôdas as múltiplas restantes, dispendiosos trabalhos de engenharia civil e complicadas fundações: — a sua instalação por muito fácil e a sua constru-

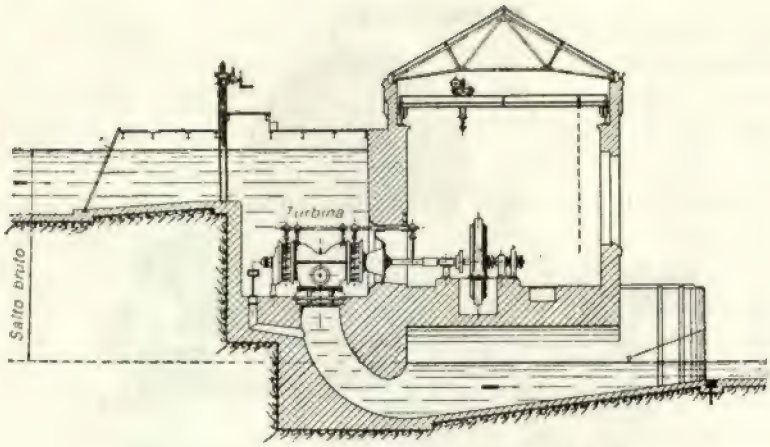


Fig. 41

ção por mais simples, sobretudo se se trata de rodas normais, justificam ainda o seu emprêgo.

Quando abertas, têm essas turbinas, em geral, um difusor comum e distribuïdores separados, figs. 40 e 41; quando fechados podem apresentar disposição idêntica, fig. 42, ou um distribuïdor único, figs. 43 e 44, envolvido por uma câmara em espiral e dois difusores divergentes, dando saída à água duma roda dupla descarga, fig. 45.

Reünindo as duas soluções anteriores, obtém-se um grupo de unidades que apenas têm de comum a ligação dos órgãos móveis e o apoio do veio, sôbre o qual se pode montar de tôpo uma das rodas, fig. 46.

*
* *

Na relação que acaba de fazer-se, classificaram-se as turbinas segundo o critério que mais particularmente as distingue, isto é, da constituïção própria das rodas e do modo de funcionamento de cada uma delas; mas já também, acessòriamente, se fizeram referências às várias categorias em que essas mesmas unidades se podem agrupar, em obediência a outros critérios como o da posição do veio, vertical ou horizontal, e o da forma das câmaras, abertas ou fechadas.

Mas estes agrupamentos, alheios à discriminação essencial dos vários sistemas, visam mais particularmente o estudo das instalações no seu

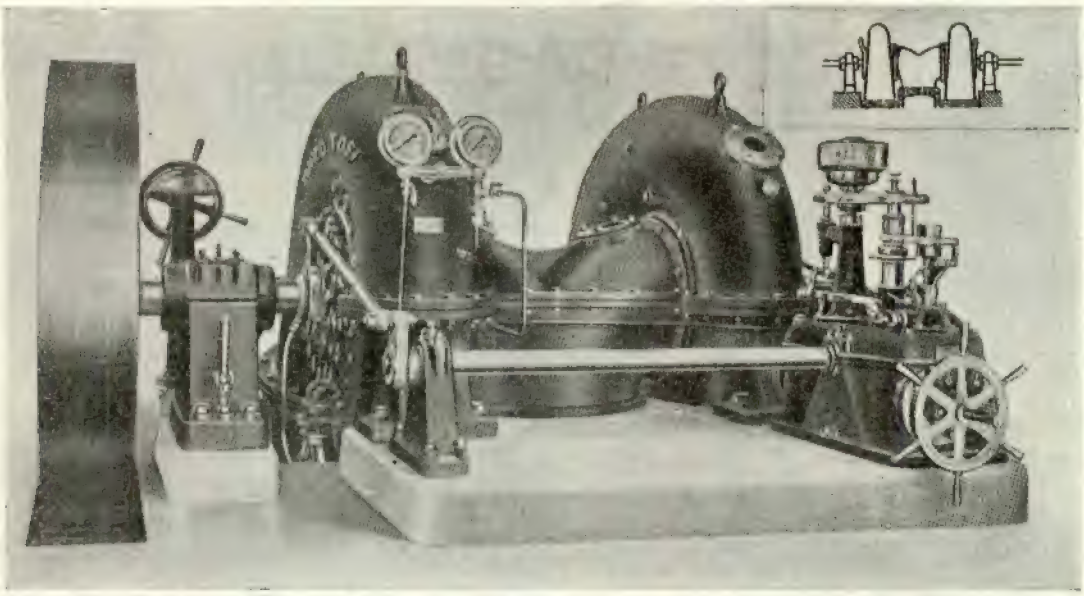


Fig. 42

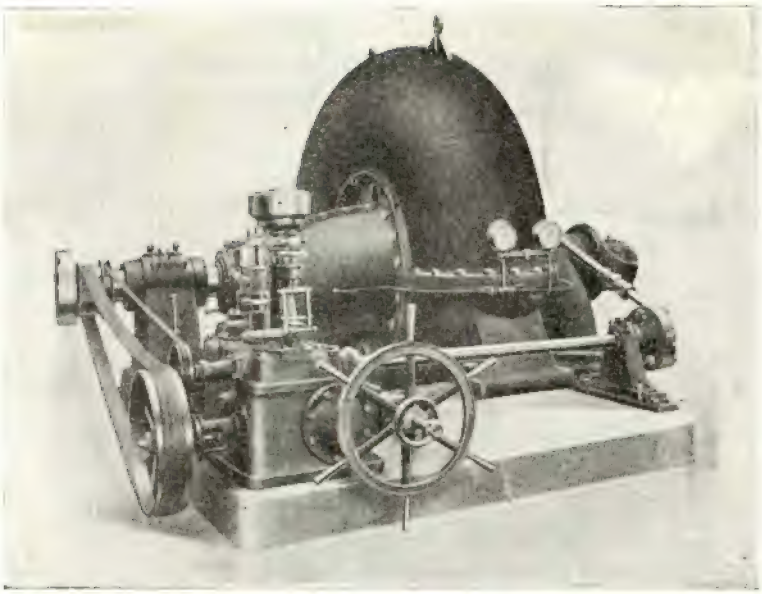


Fig. 43

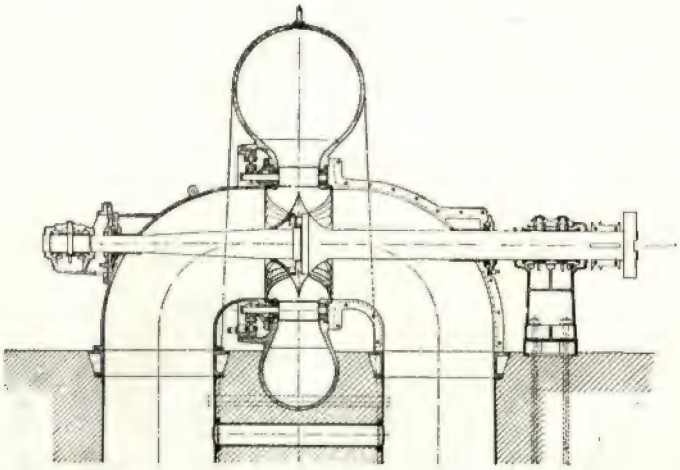


Fig. 44

conjunto, e por isso se remete o seu estudo para capítulos próprios em que, de acôrdo com as

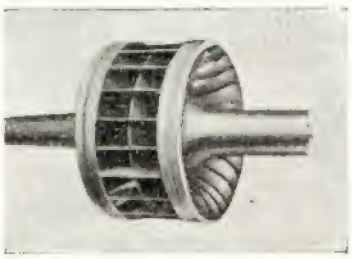


Fig. 45

condições naturais, extremamente variáveis de caso para caso, se lhe possa dar o desenvolvimento que aqui não cabe.

O que porém importa desde já salientar é que todo o aproveitamento hidráulico constitue, qualquer que êle seja, um problema de características próprias, a estudar particularmente em cada caso, no quadro especial dos factores de que depende,

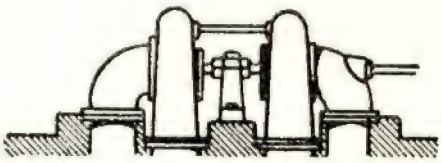


Fig. 46

quer de ordem técnica quer de ordem económica —uns e outros relacionados com as condições locais ou regionais, ou mesmo, quando se trate de instalações de certa magnitude, de carácter nacional.

La technique des carburants de remplacement. État actuel et considérations sur des techniques futures

Conférence faite à Lisbonne à l'Institut Supérieur Téchnique Portugais sous la présidence de M. Recteur, par Ed. ZEDET, président de la Commission Générale des Carburants de Remplacement

AVANT - PROPOS

C'est un grand honneur pour moi, doublé d'un plaisir que d'avoir été convié par l'éminent Directeur de l'Institut Portugais des Combustibles, Monsieur Herculano de Carvalho, à venir vous exposer, ce soir, quelques réflexions sur le problème des carburants de remplacement.

C'est un problème que la France, dans ses malheurs, s'est vu dans l'obligation d'aborder avec ardeur.

Le proverbe dit que toute médaille a son revers. Dans le cas d'espèce, c'est le revers qui a sa médaille, puisque notre pauvreté en carburants me conduit aujourd'hui à Lisbonne.

Ce Pays représente pour la France l'amitié et la paix. Ce sont deux trésors après la possession desquels la France ardemment soupire.

C'est dire la joie que l'on peut éprouver à être parmi vous.

La vie économique de tous les pays du monde est sous le signe de la motorisation, et c'est devenu un lieu commun de le dire.

Or, l'immensité du conflit qui actuellement ensanglante le monde tend nécessairement à universaliser la pénurie de matières qui, chaque jour, disparaissent dans les océans ou s'évanouissent en fumées d'incendie. Chaque nation se trouve ainsi conduite a rechercher sur son propre territoire, ou dans ses colonies, les éléments dont elle a besoin, en attendant les jours meilleurs.

L'industrie des carburants de remplacement apparaît ainsi comme une industrie de fortune (expression d'ailleurs paradoxale), dont le caractère sera d'être temporaire.

Notre dessein, ce soir, est de montrer qu'il n'en est rien; et qu'en regardant le sens des grands courants qui, chaque jour, conduisent la technique vers son évolution normale, le carburant dit de «remplacement» doit conserver dans l'avenir le droit de cité que les circonstances lui donnent dans le présent.

Rappelons ce qu'était avant 1914 l'industrie de la T. S. F. Il a fallu la guerre pour que soit généralisé l'emploi de la lampe à grille. Il est superflu de dire que sa destinée a été florissante. Les vicissitudes des hommes ont au moins cet heureux effet qu'elles les rendent industrieux, et des progrès sont réalisées grâce à elles, qui ne l'auraient été que dans de lointains futurs.

A la vérité, si la lampe à grille a pris, sans délai, la place qui lui revenait c'est que ses qualités étaient évidentes. Il n'en est pas de même pour les carburants de substitution, d'autant que leur nombre et leur diversité sont grands, et que, par la force des choses ce sont surtout les moins bons qui permettent de satisfaire le plus rapidement aux besoins urgents.

Il importe donc de faire le partage entre deux groupes de produits; les uns doivent avoir une durée éphémère. Ils ne retiennent l'attention que du point de vue professionnel, parce que ce sont les plus immédiatement utiles. Les autres se rattachent, dans une certaine mesure, aux considérations de science pure. Ce sont ces derniers que retiendront notre attention aujourd'hui parce

qu'ils placent le problème des carburants de remplacement dans son véritable cadre.

En supposant qu'un choix puisse se faire librement, sans incidence des situations de fait, il est certain que le carburant vers lequel se porteront les préférences aura la forme liquide. Elle donne les plus grandes commodités de transport et de distribution. Or, dans le prix de revient d'un carburant vendu au détail, la part la plus grande doit être affectée à la distribution. Laissons donc de côté, en les rattachant au premier groupe, les carburants gazeux, qu'ils naissent d'un gazogène mobile attaché au véhicule, ou d'un gazogène fixe, que prolongent les bouteilles de compression.

Étude des carburants de substitution

CHAPITRE I

Étude du point de vue de l'usage

Si l'on veut faire l'étude des carburants, il faut d'abord caractériser leurs propriétés.

Monsieur Max Serruys, Professeur au Conservatoire National des Arts & Métiers, les définit comme suit :

1° Ce sont des corps combustibles ;

2° Ils ne doivent pas donner lieu à des phénomènes de corrosion ni d'abrasion, ce qui exclut les composés sulfurés, halogénés ou acides ;

3° Ils doivent pouvoir être mélangés, vaporisés dans l'air carburant sous une forme assez homogène ou assez ténue pour réaliser la vitesse de combustion désirable.

Cette nécessité conduit, pour les liquides visqueux ou trop peu volatils, à recourir à des dispositifs d'injection mécanique, qui rattachent ces critères davantage à l'agencement du moteur qu'à la nature même du produit qu'on y met. La tendance actuelle qui substitue au carburateur l'alimentation par injection ne peut que multiplier le nombre des carburants possibles.

On voit que les règles imposées à un corps pour avoir droit au titre de carburant sont larges. Il n'y aura que l'embarras du choix.

Mais il faut être plus sévère, si l'on veut avoir un carburant de qualité.

A cet effet, on peut évoquer les critères suivants, qui sont des critères d'usage :

— l'énergie utilisable.

— l'aptitude à fournir une puissance ou un couple élevé.

— l'aptitude ou départ à froid.

— le faible encombrement.

Le carburant qui, rapporté à chacun de ces critères, serait chaque fois le meilleur, occuperait évidemment le premier rang. Mais il est difficile de classer entre eux des carburants qui n'ont de priorités que partielles. Ce sera affaire d'espèce et souvent d'agencement de moteur. En pratique, on a tendance à prendre comme terme de comparaison l'essence de pétrole. C'est un inconvénient, car lorsqu'un carburant a, par rapport à un critère particulier, une supériorité, l'agencement du moteur ne permet pas toujours d'en profiter.

Quoi qu'il en soit, retenons les critères énoncés ci-dessus et voyons ce qu'ils expriment.

1. Energie utilisable.

M. Rimbaud a mis au point récemment la théorie de l'énergie potentielle des carburants. On avait jusqu'ici coutume de définir cette dernière par le pouvoir calorifique. Rappelons que les calories dégagées par la réaction exothermique de combustion, à volume constant, rapportées au poids moléculaire du combustible, correspondent à la chaleur de combustion ; rapportées au kilo de matière, on a le pouvoir calorifique supérieur. Si les produits de la combustion ne sont pas condensés, il faut retrancher la chaleur d'évaporatiou (en fait celle de la vapeur d'eau) ; on a alors le pouvoir calorifique inférieur rapporté au kilo, ou le pouvoir calorifique inférieur moléculaire, si on le rapporte à la molécule.

C'est le pouvoir calorifique inférieur qui a été considéré comme le critère de l'énergie utilisable ; on le rapporte d'ailleurs au litre et non au kilo, le moteur étant défini par sa cylindrée.

Il convient d'apporter à cette notion ori-

ginelle deux corrections: En premier lieu, la plupart des moteurs sont agencés de telle façon que, au moment d'entrer dans le cycle réel de travail, les carburants liquides son vaporisés par l'apport de calories prises soit au carburateur, soit dans les cylindres.

Il faut donc, pour être exact, ajouter au pouvoir calorifique inférieur, la chaleur de vaporisation, qui représente envirou 2 °/₀ de ce pouvoir calorifique.

En second lieu, une molécule de carburant est noyée dans n_2 molécules de mélange avec l'air pour être à la composition détonante. Après combustion, il y aura n_3 molécules. Le rapport $\frac{n_3}{n_2}$ est le coefficient d'expansion moléculaire de combustion n.

Le rapport du travail τ' que l'on peut recueillir d'un carburant au travail τ recueilli quand il n'y a pas expansion moléculaire, peut être évalué à 1 + E, où E est nul pour n = 1 ; on peut alors limiter l'expression E au premier terme de la formule de Taylor, soit : n — 1.

Le rapport $\frac{\tau'}{\tau}$ est donc égal à n.

L'énergie potentielle est, en définitive, sensiblement égale à l'expression : $n\,(p_i + \lambda)$, dans laquelle :

- n est le coefficient d'expansion moléculaire,
- p_i le pouvoir calorifique inférieur moléculaire,
- λ la chaleur de vaporisation.

C'est cette expression que l'on appelle *chaleur de carburation.*

L'expérience montre que pratiquement, pour la plupart des carburants, cette chaleur de carburation se confond à peu près avec le *pouvoir calorifique supérieur.*

On aboutit ainsi à la règle simple que l'énergie potentielle d'un carburant peut s'évaluer en prenant le pouvoir calorifique supérieur.

On a pour :

— l'essence	11.200
— la dipropylcétone . . .	9.140
— la diéthylcétone	8.510
— l'acétone	7.270
— l'éthanol	7.110
— l'oxyde de méthyle . .	6.990
— le méthanol	5.270

2. *Aptitude a fournir un couple elevé a l'arbre du moteur.*

Les considérations qui précèdent n'ont d'intérèt que parce qu'elles permettent, entre deux carburant donnés, d'apprécier, pour le même travail, quelles sont les quantités respectives de molécules, donc le poids de chacun d'eux, qu'il faudra consommer. Elles n'ont pas de relations directes avec la puissance fournie dans une même cylindrée par plusieurs carburants.

Si l'on détermine l'énergie potentielle par m^3 de cylindrée, on vérifie que, sauf pour les carburants gazeux, la valeur de cette énergie est sensiblement constante et égale à ;

$$P = 960 \pm 5\,\%$$

Pour les carburants gazeux on a des chiffres assez variables, mais inférieurs (H_2 : 650 — CO : 765 — NH_3 : 780 — CH_4 : 808 — C_2H_6 : 874).

En conclusion, la puissance développée par un moteur à explosion est pratiquement indépendante de la nature du carburant.

A cette constatation est reliée celle de la constance relative du rendement.

Pour des taux de compression volumétriques de 6 à 8, qui sont des taux courants, le rendement optimum des moteurs d'automobiles est compris entre 0,24 et 0,31, quelle que soit la nature du carburant.

Il en résulte que pour obtenir 1 CV/H, soit 633 calories, il faut posséder 2.300 ± 300 calories.

De ces résultats, il ne faudrait cependant pas déduire que le choix d'un carburant soit indifférent. Leur pouvoir anti-détonant étant variable, ceux qui permettent l'usage d'un taux de compression élevé permettent en même temps d'améliorer le rendement. Mais cette amélioration sera la même pour tous les carburants qui permettent de la réaliser.

3. *Aptitude au départ à froid.*

Elle peut être caractérisée par la différence $T_1 - \theta$ entre la température T_1 à laquelle le mélange carburé se trouve abaissé par suite de la vaporisation du combustible et la température minimum θ à laquelle le mélange théorique peut rester entièrement vaporisé (point de rosée théorique).

Or, l'aptitude au départ à froid se corrige facilement par des dispositifs classiques de réchauffage. Elle se corrige encore mieux par l'étude des mélanges carburants ayant des caractéristiques complémentaires, ce qui permet — et c'est là un point important — d'obtenir des corps pouvant se substituer à l'essence sans aucune modification du moteur. Il importe cependant que ces mélanges soient stables et qu'ils puissent s'emmagasiner dans les mêmes citernes que n'importe quel autre carburant de nature différente, de façon à en simplifier la distribution.

4. *Faible encombrement*

De la densité d'un carburant et de sa chaleur de carburation on tire aisément le volume V de carburant équivalent à un litre d'essence.

C'est de cette équivalence dont on partira pour aprécier l'intérêt qu'il y a à choisir un corps comme carburant plutôt qu'à l'utiliser à d'autres usages, compte tenu de ses propriétés énergétiques.

C'est en particulier ce critère qui domine le problème de la distribution; mais cette question d'encombrement n'a que peu d'influence sur elle, si l'on dispose, comme c'est le cas habituel, d'un équipement de distribution (citerne et pompes) excédentaire par rapport aux besoins courants.

En conclusion, du point de vue de l'usage, l'étude des caractéristiques ci-dessus donne les renseignements suffisants pour classer les carburants les uns par rapport aux autres. En dehors de l'aptitude au départ à froid et de l'encombrement, on voit que le choix est pratiquement indifférent, dans les condition d'usage actuelles, du moins du point de vue de la technique d'utilisation.

CHAPITRE II

Étude de point de vue de la production

1. *Rendement énergétique global des carburants*

Du point de vue de la production elle-même, les auteurs, notamment M. Rimbaud, ont cherché, par des considérations thermodynamiques, à établir des formules mathématiques donnant le rendement d'ensemble de chaque carburant du point de vue énergétique, de façon à exclure les mauvais pour ne conserver que les bons.

On part, à cet effet, de la matière première, on calcule la dégradation de l'énergie résultante de la transformation industrielle, de la consommation d'énergie d'appoint, du rendemment du moteur et du rendement d'utilisation du carburant.

On aboutit ainsi à un rendement d'ensemble variant de 3 % pour l'hydrogène électrolytique à 19 % pour l'anthracite pour gazogène et 21 % pour le gaz de ville.

Il nous paraît qu'un tel calcul est actuellement prématuré, vu l'imprécision des chiffres relatifs aux rendements de fabrication.

On peut même dire que son principe restera toujours discutable, car il faut noter, qu'en pareille matière, une «calorie» n'est pas toujours égale à une autre «calorie».

L'étude rationnelle des carburants de remplacement va donc englober l'ensemble des combustibles naturels et consistera à les transformer, quelle que soit leur nature physique initiale, en carburants liquides. Ceci conduit pratiquement à utiliser comme matières premières, soit les végétaux, soit la houille.

Cependant une telle opération comporte en elle-même des possibilités de sélections, dont il serait fâcheux de ne pas tirer partie. C'est d'ailleurs parce que les besoins, en se multipliant, se sont dégrossis que, en dehors des critères d'usage que nous venons d'énumérer et qui sont banaux, on se trouve fré-

quemment dans la nécessité de résoudre des cas d'espèce, exigeant d'effectuer sur le pétrole brut des traitements particuliers pour aboutir à des carburants de choix, par exemple à indice d'octane élevé.

La nature des choses fait qu'ainsi l'homme s'oriente vers l'usage de produits définis et c'est pour cette raison que le carburant de remplacement (qui est en général un produit défini) doit moins être considéré comme un produit de substitution que comme un produit de complément du pétrole. Par voie de corollaire, le problème du prix de revient devient l'accessoire, si important soit-il. Il est naturel qu'un médecin spécialiste se fasse davantage payer qu'un médecin de médecine génerale.

Aussi bien cette nécessité de sélectionner a-t'elle été si pressante depuis quelques années, que le pétrole, lui-même, a servi de matière première à des transformations de plus en plus complexes. Celles-ci tendent, à l'évidence, à unifier les prix de revient, sauf naturellement dans le cas ou la nature s'est substituée à l'homme pour réaliser ses désirs. Elles sont en tous cas d'excellents modèles pour le choix des traitements que la matière de remplacement aura à subir pour être utilisable.

Et c'est pour voir plus clairement la technique de transformation de la matière de remplacement que nous allons analyser brièvement les mécanismes naturels ou artificiels qui président à certaines transformations de la matière pétrolière.

2. *Transformation de la matière pétrole*

Distillation

La première transformation, la plus simple, est la distillation.

Si nous dressons la liste approchée des hydrocarbures paraffiniques, cycliques, saturés et aromatiques en les classant, dit M. Givaudon, par températures d'ébullition croissantes à partir de 0°, on obtient un rassemblement de ces carbures par tranches, constituées d'abord par des carbures cycliques saturés, puis des carbures saturés ramifiés, puis des carbures saturés normaux qui sont successivement le pentane, l'hexane, l'heptane. Il est intéressant de remarquer que si l'on détermine l'indice d'octane des corps de cette série, on aboutit à des variatons d'indice à allure périodique, la périodicité s'effectuant d'une tranche à l'autre. Il est donc possible d'améliorer grandement la qualité des carburants pétroliers par superfractionnement, au moins jusqu'à 100°, en rassemblant les mélanges de corps à indices d'octane élevés.

Au-delà de 100°, les carbures se présentent trop nombreux et trop mélangés pour qu'un superfractionnement soit réalisable. Or, c'est au-dessus de 100° que l'on trouvera le plus grand nombre de carbures aromatiques, dont la valeur antidétonante est grande. Pour enrichir le carburant, on est donc conduit à aller un peu plus loin dans la recherche technique, en envisageant non seulement de sélectionner les corps existants, mais éventuellement de les transformer les uns dans les autres.

Aplication de la thermochimie à la matière pétrole

Ces transformations sont en général réversibles. Or le travail maximum qu'un système peut produire, au cours de son évolution à température et sous pression constantes, correspond à la diminution de l'énergie libre $-\Delta F$.

Rappelons, avec Georges Urbain, que, à température et à volume constants, toute réaction chimique réversible s'effectue dans un sens tel que le travail maximum (c'est-à-dire $-\Delta F$) soit nécessairement positif.

Par ailleurs : $\Delta F = -RT \, LK_p$

où :

- R est la constante des gaz parfaits,
- T la température absolue,
- K_p la constante de la loi d'action de masse.

La connaissance de ΔF nous donne ainsi : d'une part, les possibilités de réaction ; d'autre part, la concentration des corps à l'équilibre.

Nous admettrons que ΔF peut se déterminer expérimentalement. Ayant ainsi établi, pour la recherche des divers ΔF, une méthode de travail, voyons comment les carbures inclus dans le pétrole peuvent se transformer les uns dans les autres :

Prenons comme point de départ les carbures saturés $C_n H_{2n+2}$: on peut envisager à leur sujet les réactions suivantes :

(1) $C_n H_{2n+2} = C_{n-2} H_{2(n-2)+2} + CH_4 + C$

$C_n H_{2n+2} + H_2 = C_p H_{2p+2} + C_q H_{2q+2}$

avec $p + q = n$

(2) soit $C_n H_{2n+2} + H_2 = C_{n-q} H_{2(n-q)+2} + C_q H_{2q+2}$

(3) $C_n H_{2n+2} = C_n H_{2n} + H_2$

La formule de Parks et Hoffman donnant la valeur de ΔF pour la formation des carbures saturés, au départ de leurs éléments est, en phase gazeuse :

$$\Delta F_n = -14700 - 6000\,n + 1{,}0\,T + 25{,}0\,nT$$

Dans la deuxième réaction, les carbures en presence se sont saturés. Leurs ΔF sont donc exprimés par des valeurs linéaires de n et de T ayant mêmes coefficients.

Il s'en suit que la valeur algébrique des ΔF correspondant à chacune de ces deux réactions est indépendante de n ; elle est donc la même pour n'importe quel carbure saturé.

La première réaction aboutit à une valeur de $\Delta F = -8700 - 24\,T$, toujours négative, quelque soit T. C'est la formule exprimant le phénomène de cracking avec formation de coke.

La deuxiène réaction aboutit à une valeur de $\Delta F = -14700 + T$, négative por $T < 14700°$ absolus. C'est donc une réaction particulièrement facile, sous réserve qu'il y ait de l'hydrogène libre.

Rôle de l'hydrogène

Pour que l'hydrogène prenne naissance il faut que la réaction (3) puisse se produire. Elle correspond à une valeur de $\Delta F = 33400 - 500\,n - 27{,}9\,T - 1{,}0\,nT$, qui s'annule pour :

n = 1	à	T = 1140°	absolus	
n = 2	—	T = 1080°	—	
n = 4	—	T = 1000°	—	
n = 10	—	T = 750°	—	
n = 20	—	T = 490°	—	
n = 30	—	T = 320°	—	(soit 47° C)

La déshydrogénation est ainsi d'autant moins difficile que le rang du carbure s'élève. Mais on voit qu'elle a toutes les chances de se produire, et par suite que l'hydrogénation des carbures saturés au fur et à mesure du vieillissement du pétrole est un phenomène naturel.

Des raisonnements du même genre aboutiraient à la conclusion que les carbures cycliques doivent, aux aussi, se dégrader par l'action de l'hydrogène, pour aboutir à des carbures saturés (Ex. $C_6 H_6 + 4\,H_2 = C_6 H_{14}$). La pratique montre d'ailleurs que l'hydrogénation est la meilleure technique d'ouverture des cycles.

Polymérisation

La déshydrogénation des carbures saturés aboutit à des carbures non saturés.

Ceux-ci, par polymérisation, peuvent aboutir soit aux carbures ramifiés, soit aux carbures aromatiques.

Une première polymérisation consiste en un simple doublage des molécules, et la variation d'énergie libre ΔF est représentée par $\Delta F = 18700 + 26{,}9\,T$, également indépendant de n et rendant la transformation possible au-dessous de 700° K.

Ce résultat est conforme aux pratiques de polymérisation à basse température.

Un second type de polymérisation, que l'étude des ΔF rend possible, aboutit à des cyclisations.

Ainsi, par la voie de déshydrogénation, d'hydrogénation, de polymérisation que la thermochimie indique comme possibles dans les conditions où les pétroles se trouvent mis à l'état naturel, les pétroles bruts semblent évoluer au sein de la terre, en se dé-

gradant, pour tendre vers le caractère paraffinique, dont l'aboutissement ultime serait le méthane.

La composition des pétroles pourrait donc être un moyen de déterminer leur vieillissement.

Quoiqu'il en soit, les remarques qui précèdent, et dont la valeur se limite à celle d'hypothèses vraisemblables parmi d'autres, aboutissent aux conclusions suivantes :

1.° Puisque, si ces hypothèses sont prises pour exactes, la nature transforme les matières organiques carbonées en produits liquides carburants, par un lent travail des siècles, l'homme, s'il veut obtenir en quelques minutes les mêmes résultats, devra y consacrer des dépenses instantanées, qui rendront systématiquement l'opération plus coûteuse.

2.° Puisque l'hydrogène semble intervenir avec fruit dans l'évolution de ces mêmes carburants, il est normal d'essayer de copier la nature, en effectuant artificiellement cett hydrogénation.

3. *Hydrogénation des Combustibles*

Nous empruntons à une étude de M. l'Ingénieur général des Mines Crussard les considérations qui vont suivre :

Trois Formules :

Trois modes d'hydrogénation sont possibles :

a) *Avec gazéification et formation du mélange «$CO + 2H_2$»*

Le premier transforme la matière carbonée, par gazéification, en oxyde de carbone et hydrogène.

On connait la technique du gaz à l'eau.

En partant du coke et non de la houille pour profiter de la propriété qu'ont les houilles de se ramollir vers 350° et de s'agglomérer, rendant ainsi les morceaux et les poussiers utilisables en fournissant du coke, on oxyde le carbone suivant la réaction :

$$C + 1/2\ O_2 + 2\ N_2 = CO + 2\ N_2 + 29400 \text{ cal. (gaz pauvre)}$$

et on injecte sur le coke de la vapeur d'eau :

$$C + H_2O = H_2 + CO - 28.800 \text{ cal. (gaz à l'eau)}$$

Les deux réactions, l'une endo —, l'autre exothermique. On a aussi :

$$C + O_2 = CO_2 + 97.000 \text{ cal.}$$
$$CO_2 + C = 2\,CO + 39.000 \text{ cal.}$$

et un groupe de nouvelles réactions, qui fictivement se traduisent par :

$$C + 2\,H_2O = CO_2 + 2\,H_2 - 13.500 \text{ cal.}$$

L'ensemble de ces transformations aboutit, par action d'air et de vapeur d'eau sur le carbone solide, à fournir un mélange de CO_2 et H_2 en phase gazeuse. Mais ce mélange, s'il permet d'avoir un gaz combustible, ne donne pas le moyen de le transformer en liquide par synthèse.

Pour obtenir un tel résultat, il faut que CO et H_2 se trouvent dans des proportions convenables c'est-à-dire sensiblement CO et H_2.

En effet, par catalyse :

$$CO + 2\,H_2 = CH_3\,OH$$
$$n\,(CO + 2\,H_2) + H_2 = n\,H_2\,O + C_2\,H_{2n+2}$$
(synthèse Fischer).

Il est facile d'aboutir aux concentrations voulues en saturant en présence de catalyseurs le gaz chaud avec de l'eau chaude qui se vaporise. On a alors la réaction réversible :

$$H_2O + CO = CO_2 + H_2 + 10.000 \text{ cal.}$$

qui transforme une molécule de CO en une molécule de H_2.

La réaction, indifférente à la pression, s'oriente de gauche à droite si la température est relativement basse (500°), d'où nécessité d'un catalyseur.

L'opération ci-dessus s'appelle la conversion du gaz à l'eau. Elle est la clef de toutes les synthèses au départ des matières

combustibles solides. En effet, on remarque que le combustible dans la matière gazeuse soumise à hydrogénation a totalement perdu son individualité. Il s'ensuit qu'une telle technique peut s'appliquer, du moins en théorie, à toute matière organique morte (diverses qualités de houille) aussi bien ou'aux matières dites vivantes (tourbe, cellulose, etc.).

Effectivement des essais sont actuellement faits en France en vue d'obtenir le gaz à l'eau converti au départ du bois. Le gazogène à bois, dû à un inventeur, M. de Lacotte, fonctionne par combustion de la matière en présence d'oxygène, pour éviter la dilution du gaz dans l'azote. Il aboutit à un gaz composé de 33 % de CO_2, 66 % de $CO + 2\,H_2$, gaz soutiré d'après les indications de la courbe vers 600°.

On notera que, en changeant la température de sortie des gaz, il est possible de diminuer la concentration de CO_2, et même de l'annuler, mais en on revient alors à la necessité d'enrichir le gaz en hydrogène, c'est-à-dire de le convertir. Cette opération n'est industriellement intéressante que si l'on dispose d'une source d'hydrogène économique.

b) *Hydrogénation des goudrons de houille.*

Le deuxième mode d'hydrogénation conconsiste à extraire par distillation jusqu'à 500°, c'est-à-dire par distillation à basse température ou encore semi-distillation, le goudron primaire inclus dans le charbon et qui est constitué par une sorte de pétrole brut formé d'hydrocarbures et de corps phénoliques.

L'hydrogénation va alléger les hydrocarbures et transformer les corps phénoliques en hydrocarbures.

Les combustibles les plus aptes à cette technique sont évidemente ceux qui donnent le plus de goudrons primaires, c'est-à-dire les lignites et les flambants (proportion de de 10 à 12 %).

c) *Hydrogénation sans formation de semi-coke.*

Le troisième mode d'hydrogénation cherche à éviter la formation de semi-coke, à laquelle aboutit nécessairement le mode ci-dessus. L'hydrogène agit directement sur le combustible pour former du pétrole brut, qui lui-même pourra être hydrogéné ultérieurement.

Technique de l'hydrogénation—dissolution préalable.

Etant donnée l'analogie des situations dans le cas actuel du combustible solide et le cas précédent du combustible liquide (pétrole brut), nous allons examiner de plus près ces trois modes d'hydrogénation.

Pour réaliser l'opération, on pulvérise le charbon et on l'incorpore dans une huile «support». En chauffant la bouillie, le charbon se dissout dans l'huile.

La solution est mise au contact de l'hydrogène à 450° et à pression indifférente (pratiquement 200 kg), mais en présence d'un catalyseur solide mis en suspension dans l'huile.

L'attaque est pratiquement complète (à 2-3 % près) et aboutit à un pétrole brut allant des asphaltes jusqu'au méthane, terme de l'hydrogénation, ainsi que l'avons vu précédemment.

L'huile support est constituée par la fraction du pétrole produit qui, par coupage a chaud, au-dessus de la température d'hydrogénation, constituera le produit de queue. On règle la température de façon à assurer l'égalité en quantité de l'huile de queue et de l'huile «support» nécessaire.

Le méthane, converti en présence de catalyseur, par la vapeur d'eau, fournit de l'hydrogène par la réaction:

$$CH_4 + 2H_2O = CO_2 + 4H_2$$

ce qui permet d'obtenir l'hydrogène nécessaire, au départ de l'eau et au moyen d'un carbure dont on ne peut éviter la formation.

Ainsi les opérations essentielles sont l'hydrogénation et la dissolution préalable de la matière dans l'huile support. Examinons plus attentivement le phénomène.

Quand on met une houille en solution dans une solvant usuel, tel que le benzène,

on arrive à dissoudre tout au plus 2 % de la masse.

Par des modes opératoires spéciaux, Fischer a atteint des rendements de 10 à 12 %. C'est encore très faible.

Par quels mystères, le même corps qui se dissout à peine dans les solvants usuels, arrive-t'il à se dissoudre totalement dans l'huile support?

Un premier voile fut soulevé par Bedson, en remplaçant le benzène par de la pyridine, ou par certains goudrons primaires phénoliques. La dissolution atteignait brusquement 30 %.

Il était évident, vu cette discontinuité, qu'on se trouvait en présence d'un tout autre phénomène que la dissolution simple.

L'ultramicroscopie à fond sombre, qui permet d'atteindre des grossissements de 2000, a révélé, vers 1930, que les houilles avaient une structure colloïdale et que les granules colloïdaux y préexistaient avant sont traitement.

Dès lors le phénomène qui aboutit à dissoudre 30 % de la masse n'est pas une dissolution véritable, mais une «peptisation» analogue à la digestion par les sucs gastriques des aliments solides. L'attaque peptisante a libéré la parcelle colloïdale par mouillage. Le grain le plus fin de la matière première est découpé en 100 millions de parcelles. Si le grain a 1/10 de mm de diamètre, il aura 1/2000 de mm^3 de volume, et contiendra 10 quatrillions d'atomes.

La peptisation le désagrège en parcelles colloïdales n'ayant plus que 100 millions d'atomes.

Cependant, en mettant les choses au mieux, le rendement de la peptisation dépasse rarement 50 %, y compris la dissolution primaire. Ce n'est donc pas le seul phénomène qui prèside à la dissolution à 100 % de la houille dans l'huile support.

On sait que si l'on élève graduellement la température d'une houille *à sec,* il se dégage d'abord des gaz tels que: CO_2, CH_4, H_2S, H_2O, puis, à partir d'une température variable entre 300 et 400°, suivant la matière, des produits condensables prennent naissance, qui sont, nous l'avons vu, des goudrons primaires. La température à laquelle ils apparaissent s'appelle «le seuil thermique». La masse solide restante resiste alors mieux à l'action de la chaleur. Si on continue à chauffer cependant, le même phénomène recommence jusqu'à ce que la masse résiduelle devienne insensible: elle constitue alors le semi-coke, obtenu vers 500°.

L'opération ci-dessus s'appelle pyrogénation, et le semi-coke est une substance nouvelle, différente du combustible départ.

Thermolyse

Si au lieu d'opérer sur une houille à sec, on chauffe la houille *dans un solvant,* ou dans un peptisant, de façon à rester en-deça du seuil thermique, on évite la pyrogénation et on obtient une quantité, d'ailleurs limitée, de produits solubles. Le résidu attaqué à nouveau, et dans les mêmes conditions, reproduit le même phénomène, mais le seuil thermique correspond à une température plus élevée. Pratiquement l'opération se fait d'une manière continue, c'est-à-dire qu'à partir du seuil thérmique, on continue à chauffer, mais très lentement (sans quoi on pyrogénerait), jusqu'à une température limite qui, au lieu d'être de 500° comme dans le cas de la pyrogénation, n'est que de 425°.

L'opération a atteint alors sa limite d'efficacité, et on arrive ainsi à mettre en solution 75 % de la matière initiale.

La pyrogénation transformait chimiquement la matière. L'opération ci-dessus, appelée Thermolyse, conserve la substance chimique, mais modifie la structure physique. La matière dissoute, si on chasse le solvant par évaporation, a toutes les caractéristiques du bitume et fond vers 100-150°.

On peut penser que la thermolyse agit en dépolymérisant la matière première.

Mais, là encore, la limite de dissolution de la houille, bien que largement accrue, reste de 75 %.

Or, on atteint 100 % avec l'huile «support». Il y a donc encore un dernier phénomène qui différencie la thermolyse avec un solvant ou un peptisant quelconque, de celle qui s'effectue avec l'huile support.

Quand on chauffe à sec un combustible,

le franchissement du seuil thermique se manifeste par deux phénomènes : décomposition géneratrice des goudrons, hydrogénation donnant naissance au semi-coke.

Les deux opérations sont concommittantes.

Si on chauffe au contraire en présence d'un liquide, l'action de mouillage hâte la décomposition thermique génératrice des goudrons, par contre, en recollant les fragments, dont la rupture est à la base de la pyrogénation, elle gêne cette dernière. De sorte que le seuil de la décomposition s'abaisse, augmentant le taux de dissolution, tandis que le seuil de la pyrogénation s'élève, en permettant d'éviter cette dernière.

Une telle dislocation des deux seuils dépend de la spécificité des «huiles support». Il est remarquable de constater que pour obtenir le meilleur résultat, il est nécessaire de prendre comme solvants des corps issus de la matière première elle-même; ceci introduit là, comme dans les phénomènes biologiques, l'idée de parenté et de ses influences.

A l'échelle atomique la thermolyse aboutit à des agglomérats de quelques 1000 a 10.000 atomes de carbone, c'est-à-dire 10.000 à 100.000 fois plus petite que les particules issues de la peptisation.

Telles sont les explications qu'il est licite de donner de la dissolution mystérieuse de la houille dans l'huile support.

4. *Transformation des végétaux*

Nous avons vu que d'après les lois de la thermodynamique, les carbures d'hydrogène devaient normalement tendre à une évolution systématique vers le méthane.

Nous venons de voir que l'hydrogénation permettait la transformation des huiles en carburants liquides.

Mais cette hydrogénation ne s'exerce pas avec la même éfficacité sur les divers corps qui constituent la grande famille des combustibles.

Intervention de l'oxygène

L'étude systematique de l'hydrogénation des houilles fait apparaître le rôle essentiel de l'oxygène. De sorte que, dans la chimie du carbone, c'est d'une part l'oxigène, d'autre part l'hydrogène qui constituent les éléments prépondérants.

L'on peut même dire que l'oxygène est l'élément essentiel, s'il s'agit de rechercher des combustibles liquides, puisque le pétrole brut, quel que soi son mûrissement, est liquide à son origine, et que la hoille, par l'opération de thermolyse que nous venons d'examiner, se transforme en combustible liquide, sans hydrogénation. L'hydrogénation n'a d'intérêt que pour faire de l'essence, et le jour est proche où, avec les moteurs à injection, l'essence ne présentera qu'un intérêt très secondaire.

Si jusqu'ici, l'oxygène n'a pas retenu particulièrement notre attention, c'est que nons avons étudié des corps parvenus à la limite de leur combustion.

Au fur et à mesure que nous allons remonter des corps vieillis à ceux plus jeunes, l'intervention de l'oxygène va devenir prépondérante. On conçoit que pour cette raison, au fur et à mesure que l'homme s'attache à élargir le champ de ses carburants, il aboutisse systématiquement à l'usage des carburants oxygénés.

Et, partant des houilles les plus anciennes, on cherche à classer les combustibles, on rencontre :

— Les charbons gras et flambants, où le nombre d'atomes d'oxygène est de 5 à 10 pour 100 atomes de carbone,

— puis les carbolignites : 15,

— les lignites : 25,

— les corps humiques et les tourbes : 50.

— enfin, les végétaux vivants : 100.

Dans ces derniers groupes, l'oxygéne intervient dans les radicaux à fonctions chimiques (groupes carboxyle CO_2 H, phénolique, méthoxyle, etc. . . .).

Dans les prémiers, les fonctions chimiques ont disparu. L'oxygène entre seulement soit dans la constitution des chaînes fermées (corps furaniques), soit en position de suture entre deux groupes monovalents quelconques.

Or c'est en de telles fonctions que l'oxygène constitue un point faible de l'assemblage des atomes. C'est donc par ce point faible que l'hydrogénation va s'exercer.

Mais, dans les corps où la structure chimique est plus riche, d'autres moyens sont à notre disposition pour assouplir la molécule à nos commodités: telles le fermentation et l'hydrolyse. A la vérité, il ne s'agit que de moyens supplémentaires, qui n'excluent pas ceux que nous venons de passer en revue.

On pyrogène la cellulose, la tourbe, le lignite, comme on pyrogène la houille; et il est vraisemblable qu'en y apportant les soins désirables, on pourra substituer à ces opérations brutales d'autres plus nuancées, telles que la thermolyse. Il est intéressant de noter en particulier que la carbonisation du bois comporte, elle aussi, un seuil thermique aux environs de 350°. Certains expérimentateurs ont d'ailleurs mis à l'étude un probleme curieux, qui est la production de «bois liquide». En admettant que la fusion du bois s'accompagne d'une diminution de volume, une augmentation de pression convenable doit permettre une liquéfaction à température inférieure au seuil thermique, c'est-à-dire sans décomposition du bois. Si une telle opération n'est pas particulièrement avantageuse dans le cas où elle pourrait s'exercer sur les houilles, elle le devient sur le bois car, après décompression, celui-ci acquiert du fait de sa fusion hypothétique, une densité considérable (supérieure à 1) et peut donner le moyen de fabriquer des comprimés au départ de matières telles que les sciures ou les feuilles mortes.

Mais c'est un fait que, par suite de leurs investigations antérieures, les techniciens du bois ont été jusqu'ici davantage orientés vers les transformations spécifiques de la cellulose, plutôt que vers l'extrapolation à cette matière des recherches réalisées sur les pétroles et les houilles. Nos nécéssités présentes, en orientant les fabricants de carburants vers ce nouveau domaine d'activité, les inciteront à y apporter leur expérience et leus habitudes de pensée. Déjà l'hydrogénation et le craquage des goudrons et des gemmes du pin permettent d'obtenir, grâce à eux, des huilles lubrifiantes de qualité excepcionnelle.

Quoiqu'il en soit, la chimie de la cellulose s'est surtout orientée vers la fermentation et l'hydrolyse. Il se trouve que ce dernier phénomène, comme on va le voir, n'est pas autre chose, mutatis mutandis, que celui de la thermolyse, précédemment décrit, aboutissant à une sorte de dépolymérisation de la molécule, pour engendrer des molécules plus legères et solubles.

Les glucides

Pour bien situer les opérations qui, au départ de la cellulose, permettent d'obtenir des carburants, il est nécessaire de rappeler succinctement la chimie des corps naturels qui sont en relation étroite avec cet élément végétal et qu'on appelle des «glucides».

La formule spéciale des glucides est la suivante: $C_nH_{2p}O_p$ qu'on peut écrire $(H_2O)_pC_n$, d'où le nom qui leur est souvent donné d'hydrates de carbone.

Les glucides se divisent en trois familles: les oses à une seule molécule: tel le glucose; les polyoses ou holosides à deux ou plusieurs molécules d'oses condensées: tels le saccharose, la cellulose, l'amidon; les hétérosides à plusieurs molécules condensées, mais hétérogènes: tel la digitaline.

Les oses sont des polyalcools, possédant en outre une fonction aldéhyde ou cétone. Suivant le nombre de carbone, on les divise en hexoses, pentoses, etc. Leurs formes sont diverses: forme acyclique, pyranique ou furanique; dans ces deux derniéres, la chaîne des carbures est cyclique et renferme un maillon d'oxygène, donc un point faiblesse.

L'ensemble des liaisons entre les divers glucides peut se schématiser comme suit:

Les oses de formule $C_6\ H_{12}\ 0_6$ sont solides et fermentent sous l'action des levures pour donner des alcools, donc des carburants.

Les polyoses s'hydrolysent sons l'action de certains ferments ou des acides et donnent naissance à des oses.

Par elimination d'une molécule d'eau, deux molécules d'oses donnent des diholosides tels que les saccharoses.

Par élimination d'une molécule d'eau, une molécule de diholoside donne deux molécules de cellulose (polyolosides):

$$2\ C_6\ H_{12}\ O_6 - H_2\ O = C_{12}\ H_{22}\ O_{11}$$
(ose)

$$^x\ C_{12}\ H_{22}\ O_{11} - H_2\ O = 2\ (C_6\ H_{10}\ O_5)^x$$
(diholoside) (polyholoside)

En résumé, la nature forme au départ de l'eau et de l'acide carbonique de l'air des oses qui se transforment elles-mêmes en diholosides, polyholosides. Seuls certains oses fournissent de l'alcool par fermentation, mais les polyholosides par fermentation ou hydrolyse peuvent être transformées artificiellement en oses alcooligènes.

Tel est le point de départ de toute la technique par laquelle l'homme tire directement du carbone végétal les carburants oxygénés dont il a besoin. A l'inverse des chimies précédentes, ces transformations procèdent d'une matière qui se renouvelle, puisqu'elle est vivante.

La synthèse naturelle des hydrates de carbone s'effectue en effet sous l'influence de la fonction chlorophyllienne, qui permet à la plante d'absorber des quantitées d'énergie solaire sous forme de longueur d'ondes.

En Europe un hectare peut fixer par an 3 à 5 tonnes de carbone. La radiation solaire apporte à cet effet environ 5 milliards de calories par an, soit la chaleur dégagée par 600 tonnes de charbon.

De telle sorte que «la route la plus directe pour convertir l'énergie tirée de son unique source, le soleil, en produit susceptible d'être utilisé dans un moteur est de tirer l'alcool des végétaux».

Cet aphorisme a éte énoncé le 29 avril 1921 par M. Boyd, dans le pays le plus pétrolier du mond, à savoir l'Amérique.

Les fermentations éthylique et aliphatique.

De même que les sucs gastriques permettent l'assimilation des aliments, de même que la peptisation permet la désagrégation des éléments colloïdaux de la houille, la levure, par sécrétion de ses saccharomyses, permet la fermentation alcoolique, c'est-à-dire le dédoublement de l'ose en alcool et CO_2 l'équation :

$$C_6\ H_{12}\ 0_6 = 2\ C_6\ H_6\ 0 + 2\ CO_2$$

La levure s'apparente au règne végétal et en particulier se fixe à l'endroit de son ensemencement.

Mais les fermentations naturelles sont le plus souvent produites par des agents apparentés au règne animal, et essentiellement mobiles : ce sont les bactéries.

L'utilisation de bactéries en symbiose, c'est-à-dire non sélectionnées (à l'inverse des levures) aboutit à une fermentation très simple, dont il est facile de tirer à la place d'alcool, les produit carburants liquides que sont les cétones. Ces cétones sont un mélange complexe qui va de l'acétone (point d'ébullition 56°) à la valérone (point d'ébullition 250°), de sorte que la courbe de distillation présente toutes les caractéristiques de celle de l'essence, avec un indice d'octane de 116 qui en rend l'emploi particulièrement precieux en aviation.

La fermentation ci-dessus est dite *aliphatique* parce qu'elle donne initialement naissance aux acides de la série grasse, spécialement l'acide butyrique. Outre la qualité des produits, l'intérêt de cette fermentation est capable de transformer tant les oses, que les diholosides, et ceci quelle que soit leur teneur en carbone.

La fermentation éthylique, ao contraire, n'agit que sur les hexoses préalablement isomérisés. Elle peut même atteindre certains polyholosides (amidons, dextrines), certaines cellules dégradées, appelées amylodextrines, et, enfin, une grande partie des produits azotés.

La transformation aliphatique peut se schématiser suivant l'équation de Pasteur :

$$C_6\ H_{12}\ 0_6 = C_3\ H_7\ CO_2\ H + 2\ CO_2 + 2\ H_2$$

où l'on voit que, outre l'acide aliphatique, la réaction donne de l'hydrogène.

Si l'on se rappelle ce qui a été dit au sujet du gazogène de Lacotte, on voit que l'association de deux techniques : gazéification du bois et fermentation aliphatique des jus sucrés, permettrait d'apporter au mélange CO et H_2 tiré du gazogène l'appoint de H_2 nécessaire pour améliorer le rendement du gazogène en soutirant le gaz à une

température où la concentration en CO_2 est très faible.

Si l'on se rapelle égalemente ce qui a été dit au début de cet entretien sur l'avantage des mélanges d'alcool avec leurs éthers oxydes, pour faciliter les démarrages à froid, on concevra comme particulièrement intéressant de produire en une seule usine l'alcool méthylique, l'oxyde de méthyle, et les cétones qui mélangées en proportions voulues fourniraient un excellent supercarburant.

Hydrolyse de la cellulose

Mais la fermentation butyrique n'est pas directement capable de transformer en carburants les polyholosides tels que les celluloses, constituant le plus commun des végétaux.

Pour tourner la difficulté, on l'a vu, il suffit de faire rebrousser chemin à l'évolution naturelle des plantes, par la voie de l'hydrolyse.

La formule donnée plus haut, montre qu'ainsi on obtient un dédoublement de la molécule, phénomene identique à celui obtenu par la thermolyse, s'il s'agit de la houille, le cracking, s'il s'agit du pétrole.

Cette dégradation se fait en présence d'un acide, dilué ou concentré. Le choix de cet acide dépend du but à atteindre car les sucres dits «réducteurs», c'est-à-dire les oses, ne servent pas tous à l'obtention de carburants. En Allemagne, ou l'industrie de l'hydrolyse est parvenue à son terme, les sucres sont destinés à fournir des aliments, qui, d'ailleurs, transforme totalement le problème industriel.

Si l'on veut obtenir des carburants, il est nécessaire d'avoir un prix de revient modeste. Il est en relation avec le rendement.

Cette question du rendement est capitale et, comme elle domine totalement l'orientation de la technique, nous nous croyons obligés d'en faire l'analyse, en extrayant les calculs qui vont suivre d'un travail de M. le Dr. Fréderich Thiersch.

L'hydrolyse envisagée part de l'acide sulfurique dilué. Le drame est que le sucre formé par l'hydrolyse est décomposé par l'action de l'acide hydrolyseur et de la chaleur.

On pont admettre que la vitesse de formation du sucre $\frac{dx}{dt}$, au départ de la cellulose, este proportionnelle *à la quantité de cellulose restant à transformer.*

On a donc, d'après les formules de réactions monomoléculaires:

$$\frac{dx}{dt} = K(a - x) \tag{1}$$

où K est la constante de réaction de formation du sucre, a la valeur théorique de la saccharification de la cellulose, x la quantité totale de sucre formée dans le temps t (y compris le sucre déjà décomposé).

En intégrant, on a:

$$x = a - ae^{-Kt} \tag{2}$$

D'après l'expérience, la même loi s'applique à la réaction de décomposition du sucre; si la décomposition du sucre s'effectuait indépendamment de la saccharification, la vitesse de décomposition du sucre $\frac{dy}{dt}$ serait proportionnelle à la quantité de sucre présent à chaque instant; d'où:

$$\frac{dy}{dt} = K'(b - y) \tag{3}$$

où K' est la constante de réaction de décomposition du sucre, b la quantité de sucre présent au début de la réaction, y la quantité de sucre décomposé ou de produits transformés dans le temps t.

En intégrant, on a:

$$y = b - be^{-K't} \tag{4}$$

Mais ici, en autoclave fermée, les réactions de formation et de décomposition du sucre sont couplées. On a donc:

$$z = x - y \tag{5}$$

où z est la quantité de sucre effectif existant au temps t (rendement en sucre).

D'où, d'après (3):

$$(6) \qquad \frac{dy}{dt} = K'(x - y)$$

et d'après (2):

$$(7) \qquad \frac{dy}{dt} = K'(a - ae^{-Kt} - y)$$

En intégrant:

$$(8) \quad y = a + \frac{a}{K' - K}\left(Ke^{-K't} - K'e^{-Kt}\right)$$

compte tenu de (5) et de (2):

$$(9) \qquad z = \frac{aK}{K' - K}\left(e^{-Kt} - e^{-K't}\right)$$

Si l'on appelle:

γ la constante de réaction de formation du sucre pour la concentration en ions d'hydrogène égale à un;

γ' la constante de réaction de décomposition du sucre pour la concentration en ions d'hydrogène égale à un;

h la constante en ions d'hydrogène.

on peut remplacer K et K' par:

$K = \gamma h \qquad K' = \gamma' h$

et en tenant compte de (2):

$$(10) \quad x = a - ae^{-\gamma ht} \text{ (formation idéale du sucre)}$$

$$(11) \qquad \gamma = \frac{1}{ht} \operatorname{Log} \frac{a}{a - x}$$

en tenant compte par ailleurs de (4):

$$(12) \qquad y = b - be^{-\gamma' Kt}$$

$$(13) \qquad \gamma' = \frac{1}{ht} \operatorname{Log} \frac{b}{b - y}$$

Si on remplace alors K et K' par leurs valeurs dans (9)

$$(14) \quad z = a\frac{\gamma}{\gamma' - \gamma}\left(e^{-\gamma ht} - e^{-\gamma' ht}\right)$$

Dans la formule (11):

a est connu par l'expérience;

h est connu en fonction de t;

γ peut être alors déterminé;
Pour déterminer γ' on fait une expérience avec du glucose pur, on choisissant la concentration h et la température T;

y s'obtient par l'expérience;
Et l'équations (13) donne γ'.

On trouve ainsi que $\frac{\gamma}{\gamma'}$ est indépendante de la température.

La formule 14 donne alors z en fonction du temps

Le rendement Z maximum est obtenu quand $\frac{dz}{dt}$ s'annule, c'est-à-dire pour:

$$(15) \qquad Z_m = a\frac{\gamma}{\gamma'}\frac{1}{1 - \frac{\gamma}{\gamma'}}$$

On voit ainsi que l'on peut agir sur la température pour modifier la rendement.

Pour augmenter le rendement, le seul moyen est de diminuer la quantité de sucre présent à chaque instant.

D'où la méthode Schöller qui hydrolyse par percolation; la matière à hydrolyser est dans le percolateur et le jus hydrolyseur ne fait qu'y passer.

Mais les moûts sont alors anormalement étendus et l'on perd en calories nécessaires à la concentration ultérieure, ce qui se gagne en rendement.

Pour simplifier, on fait traverser le bois par des quantités limitées et intermittentes

d'hydrolyseur. Moins on fait d'opérations, moins bon est le rendement : c'est la méthode Mennier. Elle aboutit à avoir des produits destruction, tel que le furfurol, ce qui n'est pas un inconvénient majeur, puisque ce produit est marchand.

Pour avoir un effet de masse, on hydrolyse en atmosphère carbonique, car la destruction donne naissance à cet acide, d'où le procédé Fouque.

On voit que la conduite de l'hydrolyse conduit nécessairement à de multiples procédés qu'il n'est pas toujours rationnel de comparer les uns aux autres, puisqu'ils cherchent à voir des produits différents, les uns chimiques, les autres carburants les autres encore comestibles.

Conclusions

La vie économique de tous les pays est sous le signe de la motorisation. Les circonstances de guerre, en raréfiant les échanges internationaux, conduisent chaque nation à rechercher sur son sol les moyens d'alimenter ses moteurs. L'industrie des carburants de remplacement apparait ainsi, à l'origine, comme une industrie de fortune, à caractère temporaire.

En réalité, si ce sont bien les vicissitudes actuelles qui ont orienté les esprits vers la recherche des produits dits de substitution, il n'en rest pas moins que, si nous voulons faire oeuvre utile, nous devons provoquer la création d'une industrie nouvelle et rechercher les conditions de sa stabilisation.

Pour qu'il en soit ainsi, il faut que les carburants et lubrifiants nationaux procurent des avantages économiques, techniques et d'usage incontestables. Parce qu'ils sont nombreux et variés, il importe donc de les sélectionner. Apparaissent alors deux groupes de produits : les premiers, nés des besoins immédiats, auront une vie précaire ; les seconds, dont l'étude plus complexe ne saurait être considérée comme terminée, doivent au contraire apporter, dans l'avenir, richesse et indépendance aux pays qui les auront suscités.

Leurs qualités se rattachent aux conditions de l'usage et aux conditions de la production.

Du point de vue de l'usage, l'étude de leurs caractéristiques principales semble montrer qu'il y a, pour le moment, indifférence de choix entre les carburants pétroliers et ceux de remplacement. Mais, l'évolution naturelle des besoins tend vers l'usage de composés définis, ce qui est spécifique du produit de remplacement, que l'on désigne souvent sous le nom de produit de «dopage».

Du point de vue de la production, le rapprochement des diverses techniqnes, qui, sous des angles et pour des buts différents, ont cherché à transformer la matière naturelle combustible depuis 50 ans, permet de découvrir une vaste harmonie entre les recherches faites un peu à tâtons. Dans le panorama qui se révèle à nos yeux, on aperçoit d'abord un fond commun à toutes les transformations, qui est le cycle de l'énergie solaire.

Les peuples primitifs adoraient le soleil. Ils n'avaient pas tout à fait tort. C'est par lui que le problème des carburants trouve son sens et son unité. C'est lui qui fournit l'énergie nécessaire à la croissance des plantes, desquelles on peut, par des moyens simples, tirer les carburants oxygénés liquides.

Puis, peu-à-peu, la matière vivante se consume et tend verse des édifices moléculaires de plus en plus pauvres en oxygène. C'est le domaine des houilles, maintenant facilement liquéfiables.

Enfin, l'édifice moléculaire se dégrade de plus en plus pour aboutir aux pétroles bruts et, par une lente évolution, au terme final et élementaire de la molécule carbonée, à savoir le méthane.

Quel que soit le stade de l'évolution, les moyens à mettre en œuvre pour adapter la matière à nos besoins apparaissent comme étant les mêmes :

— la fermentation, l'hydrolyse, pour les végétaux vivants,
— la peptisation, la thermolyse, pour les houilles,

— l'hydrogénation, le craking, pour les pétroles bruts,

ne sont que des variations sur de mêmes thémes.

On en tire deux conclusions générales: l'une, d'ordre philosophique, qui aboutit au principe des similitudes, règle fondamentale de l'univers; l'autre, d'ordre pratique, qui montre que la recherche des carburants de remplacement n'est pas autre chose que l'aboutissement normal, inéluctable de l'industrie pétrolière.

Bien loin d'ètre en opposition, ces deux industries se complètent. Plus exactement, elles ne sont qu'une seule et même industrie, comportant les mêmes techniques.

Le malheur des temps permet simplement à de proches parents, que les hasards de la vie avaient jusqu'ici éloignés l'un de l'autre, de se retrouver en une seule famille, pour, de ce fait, s'épanouir et prospérer.

Aplicação dos circuitos oscilantes aos esquemas modernos

Sob êste título realizou, a convite do Departamento Cultural da A. E. I. S. T., o Sr. Eng.º Paulo de Brito Aranha, Prof. da E. E., uma série de quatro lições que muito interessou os alunos dêste Instituto.

Depois duma notícia histórica sôbre radiocomunicações falou de modulação e fêz aplicação da teoria dos circuitos oscilantes aos filtros de banda. Fêz o estudo dos circuitos oscilantes tendo em vista obter equações em que aparecesse o Q dos circuitos, mostrando como se comportam dois circuitos ligados magnèticamente e expôs uma teoria simplificada, da sua autoria, sôbre os filtros de banda.

Aplicou êste estudo aos elementos do superheterodino indicando o critério de escolha, ligação e alimentação por uma fonte única com desconjugação.

Finalmente mostrou oscilogramas da corrente comprovando a realidade das curvas deduzidas teòricamente.

Porque êste assunto, de grande importância para os electroctécnicos, não é tratado no nosso Instituto e, principalmente, dada a categoria e competência do Sr. Eng.º Paulo B. Aranha, as lições tiveram grande afluência de alunos e de engenheiros.

Prometeu-nos o Sr. Eng.º Paulo B. Aranha fazer no próximo ano lectivo um outro curso sôbre estes assuntos de telecomunicações. Oxalá a promessa possa ter realização.

Diferentes regimes de escoamento de água em conduta livre

PELO ENG.º CIVIL (I. S. T.) JOSÉ FILIPE REBÊLO PINTO
BOLSEIRO DO I. A. C.

Num artigo intitulado «Escoamento de água em conduta livre a altas velocidades» (1) referi-me em especial a dois regimes de escoamento, que então designei por fluvial e torrencial; estas designações, embora muito usadas, não são talvez as mais lógicas.

No decorrer desta breve notícia vamos ver que existem de-facto quatro regimes de escoamento distintos e tentar atribuir-lhes designações que melhor se coadunem com a sua natureza.

Para êsse efeito convém relembrar algumas noções de análise dimensional e as propriedades mais importantes da água, elementos que nos conduzirão ao estabelecimento dos parâmetros característicos dos diferentes regimes de escoamento.

As dimensões fundamentais a considerar na mecânica, a partir das quais se pode definir qualquer quantidade, são: comprimento, tempo, massa e fôrça, que se exprimem simbòlicamente pelas letras L, T, M e F. A cada uma destas categorias de dimensões pode-se atribuir uma unidade de referência; no sistema usado no continente europeu essas unidades são respectivamente: centímetro, grama, segundo e dine.

Embora o comprimento, o tempo, a massa e a fôrça sejam características mecânicas de natureza fundamentalmente diferente, é conveniente estabelecer uma relação entre as respectivas unidades de dimensão. Assim, foi universalmente acordado que, num sistema dimensional, a unidade de fôrça é a fôrça capaz de fazer variar a unidade de massa de uma unidade de comprimento por unidade de tempo, numa unidade de tempo; estabelece-se por esta forma a relação $F = \frac{ML}{T^2}$.

Utilizando três destas dimensões fundamentais, escolhidas arbitràriamente, podem descrever-se completamente as dimensões de qualquer característica mecânica. A dimensão da potência, por exemplo, define-se por qualquer das seguintes relações:

$$\frac{LF}{T} = \frac{F^2 T}{M} = \sqrt{\frac{F^3 L}{M}} = \frac{L^2 M}{T^3}$$

Vejamos agora quais as propriedades da água que intervêm no seu movimento e quais as dimensões que lhes correspondem.

A forma geométrica de uma porção de água e a sua posição referida a um sistema de 3 eixos de coordenadas definem-se completamente em têrmos de qualquer escala de comprimentos; portanto, a forma geométrica e a posição relativa, no espaço a três dimensões, são características puramente de comprimento.

A duração da existência dessa porção de água em determinada posição já não pode ser definida em têrmos de comprimento, sendo para êsse efeito necessária uma escala de tempos.

A massa é uma medida quantitativa de matéria, que não pode ser definida em têrmos de comprimento ou de tempo; há pois que estabelecer uma escala qualquer de massas. Como a massa de uma porção de matéria não tem nenhuma relação com o volume que ocupa, uma expansão ou uma contracção não afectam a sua grandeza; embora a forma geométrica e a posição relativa possam variar com o tempo,

(1) «Técnica» — N.os 117 e 118.

a massa de uma quantidade de matéria não pode ser criada nem destruída. A característica inerente à massa é a inércia, que se define como a tendência para se conservar no estado de repouso ou de movimento em que se encontra enquanto sôbre ela não actuar uma fôrça exterior.

Uma relação muito usada entre a massa e o comprimento é a chamada massa específica, que se representa por ρ e se define como a massa por unidade de volume; a dimensão que lhe corresponde é portanto M/L^3.

A matéria pode ainda ser descrita em têrmos de certas características de fôrça, nomeadamente: *atracção de massas, atrito molecular, atracção molecular e elasticidade.*

A atracção de duas massas é a fôrça exercida recìprocamente por duas quantidades de matéria uma sôbre a outra; essa fôrça é directamente proporcional ao produto das massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas. Na mecânica dos fluidos considera-se apenas a atracção da terra sôbre o fluido, fôrça que é conhecida por pêso; a fôrça exercida pela terra (gravidade) sôbre uma massa de um grama tem, para o nosso país e ao nível do mar, um valor muito próximo de 981 dines.

A propriedade *pêso específico* é o pêso por unidade de volume, que se representa usualmente por γ e cuja dimensão é F/L^3.

Qualquer quantidade de matéria pode estar submetida a uma fôrça, sendo o efeito da sua actuação que marca a diferença primordial entre um sólido e um fluido. Um sólido sofre uma deformação elástica, directamente proporcional à fôrça, até ser atingido o limite de elasticidade; para além verifica-se geralmente uma deformação plástica e finalmente a ruptura.

Um fluido sofre uma deformação que dura enquanto actuar a fôrça; neste caso a intensidade da fôrça não determina a grandeza da deformação mas sim a «velocidade» de deformação. A esta deformação opõe-se o atrito molecular — viscosidade — que é proporcional à «velocidade» de deformação e ao coeficiente de viscosidade do fluido. Chama-se freqüentemente a esta propriedade viscosidade absoluta e representa-se por μ, sendo no entanto mais lógico denominá-la *viscosidade dinâmica;* por definição varia directamente com a intensidade da fôrça (F/L^2) e inversamente com a «velocidade» de deformação ($1/T$), tendo portanto a dimensão FT/L^2.

Como a viscosidade é a propriedade que o fluído possue de resistir à deformação angular, e como a deformação do fluido, sob a acção da fôrça, é contínua, a influência da viscosidade só é aparente quando existir um movimento relativo no interior do fluido; isto é, a acção da viscosidade não pode existir num líquido em repouso.

O valor de μ é independente do estado do movimento, sendo geralmente uma função da temperatura que varia muito de fluido para fluido; duma forma geral, a viscosidade dos gases aumenta com a temperatura e a dos líquidos baixa quando a temperatura sobe.

Convém em muitos casos utilizar a relação $\mu/\rho = \nu$ a que se chama *viscosidade cinemática* e que tem a dimensão L^2/T.

Viscosidade cinemática de alguns fluidos
ν em cm²/seg.

Água a	0°	0,0178
	20°	0,0100
	50°	0,0056
	100°	0,0030
Mercúrio a	0°	0,00125
	100°	0,00091
Glicerina a	20°	6,8
Ar a	0° e 760 mm.	0,133
	100° e 760 mm.	0,245
	0° e 7,6 mm.	13,3

Embora a acção da viscosidade seja, sem dúvida, um fenómeno molecular, ela é fundamentalmente tão diferente da atracção molecular — que dá lugar à capilaridade — como esta o é da atracção de massas. Pondo de parte várias teorias tendentes a explicar a acção capilar, limitar-nos-emos aqui a admitir que qualquer partícula líquida exerce uma fôrça de atracção sôbre tôdas as outras na sua imediata vizinhança, fôrça que parece ser de natu-

reza electro-química. Num ponto do meio líquido, a uma certa distância da superfície que o limita, as fôrças moleculares estão evidentemente em equilíbrio. Mas junto da superfície essas fôrças já não são iguais de todos os lados, do que resulta a existência duma fôrça actuando sôbre tôdas as moléculas da superfície normalmente a essa superfície. Por outras palavras, existirá uma energia superficial em tal superfície cujo valor é proporcional à área desta, pelo que a superfície tende a contrair-se por forma a ficar com a menor área possível.

O efeito da *tensão superficial* numa superfície de moléculas líquidas depende não só da atracção molecular própria do líquido mas também do grau de atracção entre as moléculas líquidas e as da substância que está em contacto com o líquido; essa substância pode ser sólida (parede de um vaso, um tubo, um canal, etc.) ou um líquido ou um gás que se não misturem com o líquido considerado.

Suponhamos, por exemplo, que se deitam algumas gotas de água num vaso contendo nitrobenzina. Como esta é mais densa do que a água e, neste exemplo, a atracção entre as moléculas de natureza diferente é menos intensa do que a que se verifica entre as moléculas semelhantes, a água conserva-se à superfície da nitrobenzina sob a forma de gotas. Se, como exemplo contrário, deitarmos sôbre água algumas gotas dum óleo leve, cujas fôrças moleculares internas sejam menos intensas do que a atracção entre as suas moléculas e as da água, as gotas de óleo alastram-se sôbre a superfície da água até se formar uma película uniforme de óleo com a mínima espessura possível. Anàlogamente, gotas de um líquido caindo através de outro líquido de densidade inferior à sua ou de um gás tendem a tomar a forma esférica, visto esta corresponder à mínima superfície para um dado volume; a analogia verifica-se da mesma maneira para bôlhas de ar no interior de um líquido. Nestes casos de curvatura da superfície, a diferença de pressões entre os dois lados da superfície varia inversamente com o raio de curvatura.

Se a superfície que limita o líquido é constituída por um sólido cujas moléculas atraiem as do líquido com maior intensidade do que a da atracção das moléculas líquidas entre si, diz-se que o líquido molha a parede sólida; êste fenómeno pode manifestar-se com maior ou menor intensidade, visto êle depender do valor relativo das fôrças de adesão e de coesão: a água molha o vidro de uma forma apreciável e o mercúrio não. No caso de água em contacto simultâneamente com um sólido e um gás (por exemplo, água num tubo de vidro com superfície livre exposta ao ar), as diferentes fôrças darão lugar a que a superfície livre tome a forma côncava, do que resulta uma diminuïção de pressão logo abaixo da superfície livre; a água tem então que subir, para equilibrar a redução da pressão. Se o líquido considerado fôr o mercúrio, que não molha o vidro, a atracção das moléculas de mercúrio entre si dará lugar à formação de uma superfície livre convexa, a um aumento de pressão e, portanto, a uma descida do nível da superfície livre.

O valor da tensão superficial, que se representa usualmente por σ, tem a dimensão de fôrça por unidade de comprimento F/L; não é necessàriamente constante para um dado líquido, pois depende também da natureza da substância com que êle estiver em contacto.

O *módulo de elasticidade* de um fluido exprime a relação entre a variação da pressão a êle aplicada e a tensão resultante — que se traduz pela variação relativa do seu volume —; tem-se assim:

$$e = \frac{dp}{-dv/v}$$

O sinal — representa uma redução de volume sob um acréscimo de pressão.

Como um decréscimo do volume inicial representa um aumento da massa específica do fluido, pode escrever-se:

$$e = \frac{dp}{d\rho/\rho} \quad \text{e} \quad \frac{dp}{e} = \frac{d\rho}{\rho}$$

O módulo de elasticidade tem portanto a dimensão da fôrça por unidade de área F/L^2 e a inversa é uma medida directa da compressibilidade do fluido. A maior parte dos líquidos têm um módulo de elasticidade elevado, sendo por êsse facto considerados incompressíveis [1]

[1] O módulo de compressibilidade da água é igual a $\frac{1}{20.000}$ cm²/kg.

(nas condições usuais). O módulo de elasticidade dos líquidos varia com a temperatura e, para pressões muito elevadas, com a pressão.

Nos gases verifica-se o contrário, o seu módulo de elasticidade tem valores muito baixos — os gases são fortemente compressíveis.

Qualquer estado de movimento de um fluido pode ser definido em têrmos de quatro unidades fundamentais, por forma semelhante à utilizada para definir as suas propriedades.

As formas geométricas das superfícies que limitam o escoamento, isto é, a grandeza e as proporções das paredes sólidas, fixas ou móveis, em contacto com o fluido, podem-se medir em têrmos de uma escala de comprimentos.

Para definir as características cinemáticas do movimento dum fluido são necessárias escalas de comprimento e de tempo. Assim, a distância percorrida por uma partícula dum fluido numa determinada direcção, por unidade de tempo, é uma medida de velocidade, e a variação da velocidade por unidade de tempo mede a sua aceleração. Anàlogamente, o produto da velocidade pela secção transversal do escoamento representa o caudal.

Cada uma destas dimensões é puramente cinemática, pois envolve apenas escalas de comprimentos e de tempos; estas dimensões são suficientes para descrever o esquema do escoamento, incluindo a forma das trajectórias de cada partícula, sem ser necessário saber quais as fôrças que determinaram o movimento.

Para definir as características dinâmicas do movimento tem que se recorrer ao princípio básico da mecânica — equação de Newton — que envolve as quatro dimensões, uma das quais é arbitràriamente escolhida como dependente das outras três; êste princípio estabelece que a variação na unidade do tempo da quantidade de movimento de uma determinada massa é proporcionál à fôrça que actua sôbre ela e na direcção dessa fôrça; usualmente diz-se que a fôrça é igual ao produto da massa pela acelaração. Assim, por unidade de volume de fluido, tem-se:

$$f = \frac{d(\rho v)}{dt} = \rho a$$

A hidrodinâmica clássica trata apenas dum fluido ideal, fluido perfeito; nos problemas usuais a única fôrça considerada como podendo produzir uma aceleração duma massa fluida é a diferença de pressão de ponto para ponto dentro do fluido. A hidrodinâmica ocupava-se portanto essencialmente do esquema cinemático do escoamento (evidenciado pela distribuïção das velocidades) relacionado com o esquema dinâmico (evidenciado pela distribuïção das pressões).

A moderna mecânica dos fluidos, tomando na devida consideração o esquema básico do escoamento, expresso pelas relações clássicas, atende ao facto de que certas propriedades dos fluidos — *pêso, viscosidade, tensão superficial* e *elasticidade* — podem, por vezes, introduzir modificações apreciáveis no esquema básico.

Para o desenvolvimento da mecânica dos fluidos é conveniente organizar as diferentes variáveis dimensionalmente, no menor número possível de grupos tendo uma significação física importante. Essa organização é facilitada pelo facto de que qualquer expressão matemática de movimento (ou representando uma lei regendo qualquer fenómeno), para ser físicamente correcta, tem que ser dimensionalmente homogénea; isto é, todos os têrmos de uma equação, quando reduzidos às dimensões básicas — comprimento, tempo e massa ou fôrça — têm que conter potências da mesma ordem de cada uma das dimensões. Portanto, desde que se saiba quais as variáveis que devem ser incluídas na expressão representativa de determinado estado de escoamento, a relação entre elas não é muito difícil de estabelecer, visto saber-se que a equação tem que ser dimensionalmente homogénea.

Para a organização das diferentes variáveis é de valioso auxílio o princípio estabelecido em 1915 por Buckingham, conhecido pelo teorema dos π, π...

Se qualquer variável A_1 depender apenas das variáveis independentes A_2, A_3, ..., A_n, tem-se:

$$A_1 = f(A_2, A_3, \ldots\ldots, A_n)$$

ou:

$$f'(A_1, A_2, A_3 \ldots\ldots, A_n) = 0$$

O teorema dos π, π, ..., diz-nos então que, se tôdas estas n variáveis poderem ser representadas por m unidades dimensionais fundamentais, elas podem ser agrupadas em n-m têrmos sem dimensões (que se designam por π_1, π_2 .....)

$$\varphi(\pi_1, \pi_2, \ldots\ldots\ldots\ldots, \pi_{n-m}) = 0$$

Em cada têrmo (π) haverá m + 1 variáveis, apenas uma das quais difere de têrmo para têrmo.

As variáveis que entram em cada têrmo (π) deverão apresentar-se sob formas exponenciais tais que cada têrmo seja efectivamente sem dimensões.

Se às m variáveis que se repetem se atribuírem expoentes desconhecidos, para cada têrmo, o facto de existirem m dimensões fundamentais com as quais se podem representar as diferentes variáveis fornece um meio de determinar êsses expoentes.

Duma forma geral as únicas variáveis que podem influenciar o movimento dos fluidos são das três categorias seguintes:

1) As várias *dimensões lineares* definindo completamente as formas geométricas das superfícies que limitam o escoamento: a, b, c, d, ...;
2) As *características cinemáticas e dinâmicas do escoamento:* velocidade média V (caudal Q ou, menos freqüentemente, um tempo ou uma aceleração) e o acréscimo de pressão Δp ou o gradiante dp/dx (ou uma fôrça resistente ou uma intensidade de tensão);
3) As propriedades essenciais do fluido: *massa específica* ρ, *pêso específico* γ, *viscosidade* μ, *tensão superficial* σ e *módulo de elasticidade* e.

Se admitirmos, como exemplo, que tôdas estas características estão envolvidas no escoamento a investigar, temos:

$$f'(a, b, c, d, V, \Delta p, \rho, \gamma, \mu, \sigma, e) = 0$$

Como há três dimensões básicas — L, T, M, ou L, T, F, — e onze variáveis, devem existir $11 - 3 = 8$ têrmos (π) e três variáveis devem ser comuns a todos os têrmos. Escolhem-se habitualmente para estas três variáveis uma dimensão linear, a velocidade e a massa específica, figurando em cada um dos oito têrmos apenas uma das restantes 8 variáveis; a estas últimas atribui-se o expoente — 1, sendo os expoentes desconhecidos das outras que vamos agora determinar.

Temos então:

$$\varphi(\pi_1, \pi_2, \ldots\ldots\ldots\ldots, \pi_8) = 0 \quad (1)$$

em que:

$$\pi_1 = a^{x_1}\, V^{y_1}\, \rho^{z_1}\, b^{-1} \qquad \pi_5 = a^{x_5}\, V^{y_5}\, \rho^{z_5}\, \gamma^{-1}$$
$$\pi_2 = a^{x_2}\, V^{y_2}\, \rho^{z_2}\, c^{-1} \qquad \pi_6 = a^{x_6}\, V^{y_6}\, \rho^{z_6}\, \mu^{-1}$$
$$\pi_3 = a^{x_3}\, V^{y_3}\, \rho^{z_3}\, d^{-1} \qquad \pi_7 = a^{x_7}\, V^{y_7}\, \rho^{z_7}\, \sigma^{-1}$$
$$\pi_4 = a^{x_4}\, V^{y_4}\, \rho^{z_4}\, \Delta p^{-1} \qquad \pi_8 = a^{x_8}\, V^{y_8}\, \rho^{z_8}\, e^{-1}$$

Para se obterem têrmos (π) sem dimensões, os expoentes por enquanto desconhecidos têm que ser tais que, se se representarem as diferentes variáveis pelas respectivas relações em L, T e M ou F, o expoente de cada dimensão deverá ser finalmente igual a zero.

Isto é:

$$\pi_1: \quad \left(L\right)^{x_1} \left(\frac{L}{T}\right)^{y_1} \left(\frac{M}{L^3}\right)^{z_1} \left(L\right)^{-1} = L^0\, T^0 M^0$$

Donde se tira:

$$\begin{aligned} L: &\quad x_1 + y_1 - 3z_1 - 1 = 0 \\ T: &\quad -y_1 = 0 \\ M: &\quad z_1 = 0 \end{aligned}$$

cuja resolução dá $x_1 = 1$ $y_1 = 0$ $z_1 = 0$ sendo portanto:

$$\pi_1 = \frac{a}{b}$$

Procedendo de forma análoga determinam-se os valores dos outros têrmos (π), que são:

$$\pi_2 = \frac{a}{c} \qquad \pi_3 = \frac{a}{d} \qquad \pi_4 = \frac{V^2}{\Delta p/\rho} \qquad \pi_5 = \frac{V^2/a}{\gamma/\rho}$$

$$\pi_6 = \frac{Va}{\mu/\rho} \qquad \pi_7 = \frac{V^2 a}{\sigma/\rho} \qquad \pi_8 = \frac{V^2}{e/\rho}$$

Introduzindo estes valores na expressão (1) obtém-se:

$$\varphi\left(\frac{a}{b}, \frac{a}{c}, \frac{a}{d}, \frac{V^2}{\Delta p/\rho}, \frac{V^2/a}{\gamma/\rho}, \frac{Va}{\mu/\rho}, \frac{V^2 a}{\sigma/\rho}, \frac{V^2}{e/\rho}\right) = 0 \quad (2)$$

É claro que esta não é a única forma possível de agrupar as variáveis de maneira a obter-se

entre elas uma relação funcional dimensionalmente correcta; se a escolha das variáveis tivesse sido outra obter-se-ia uma expressão diferente de (2) mas também dimensionalmente correcta.

Justifica-se porém a escolha feita, por ela conduzir a três tipos diferentes de parâmetros, sem dimensões, fundamentais na mecânica dos fluidos:

1) *Os que definem as condições geométricas das superfícies limites de escoamento;*
2) *Um caracterizando o esquema básico do escoamento da hidrodinâmica clássica;*
3) *Quatro caracterizando a influência das mais importantes propriedades dos fluidos — pêso, viscosidade, tensão superficial e elasticidade* — parâmetros que são conhecidos por *números de Froude, Reynolds, Weber e Cauchy,* e se designam por:

$$\mathbf{F} = \frac{V^2/a}{\gamma/\rho} \qquad \mathbf{R} = \frac{V\,a}{\mu/\rho} \qquad \mathbf{W} = \frac{V^2\,a}{\sigma/\rho} \qquad \mathbf{C} = \frac{V^2}{e/\rho}$$

Nos escoamentos de água com superfície livre as pressões são sempre muito baixas, em face do elevado valor do módulo de elasticidade da água, tendo portanto o número de Cauchy um valor extremamente baixo, de que resulta a sua influência ser desprezível; êle tem importância no caso das ondas elásticas nas condutas forçadas e nos escoamentos dos gases, visto estes terem módulos de elasticidade muito baixos.

O número de Weber só tem influência nos escoamentos de água em que as superfícies limites estão muito próximas. Na maioria dos casos vulgares da prática a tensão superficial não tem influência apreciável, havendo porém que tomar especiais cuidados para a evitar em certos ensaios em modêlo reduzido, quando a redução é muito grande e, conseqüentemente, a profundidade da água é muito pequena (caso do estudo de problemas fluviais); neste caso adoptam-se freqüentemente para os modelos escalas de alturas maiores do que as escalas dos comprimentos.

Restam o parâmetro basilar da hidrodinâmica, que se considera sempre e que portanto é tomado como a variável dependente, e os de Reynolds e de Froude. Estes três são sem dúvida os parâmetros mais importantes.

Fazendo $\gamma/\rho = g$ e $\mu/\rho = \nu$ as expressões representativas dos números de Reynolds e de Froude tomam os seguintes aspectos:

$$\mathbf{R} = \frac{V\,a}{\nu} \quad \text{e} \quad \mathbf{F} = \frac{V^2}{a\,g}$$

em que a é uma dimensão linear, igual ao diâmetro D (para tubos) ou ao raio hidráulico R (para canais), no número de Reynolds, e igual a h ou y (profundidade da água), no número de Froude. Êste escreve-se muitas vezes sob a forma $\mathbf{F} = \frac{V}{\sqrt{gy}}$, por, assim, o denominador representar a velocidade das pequenas ondas de gravidade.

As esperiências de Osborne Reynolds mostraram que, para escoamento de água em tubos, o número sem dimensões $\mathbf{R} = \frac{V\,D}{\nu} = 2.000$ marca aproximadamente a separação entre dois regimes de escoamento diferentes: *sossegado* ou *laminar* e *turbulento*. Êste critério envolve apenas a viscosidade, não tendo portanto nenhuma relação com a acção da gravidade.

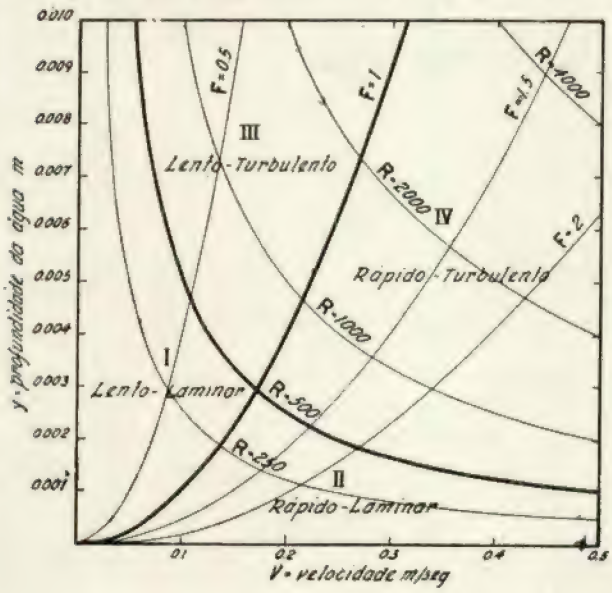
Para escoamentos com superfície livre o número crítico passa a ser o de Froude $\mathbf{F} = \frac{V}{\sqrt{gy}} = 1$, que separa dois regimes de escoamento diferentes, caracterizados por velocidades inferiores ou superiores à de uma onda de gravidade muito pequena. Êste critério nada tem que ver com a viscosidade.

Enquanto o número de Froude é apenas aplicável a escoamentos com superfície livre, nos quais a acção da gravidade é efectiva, o número de Reynolds aplica-se tanto a escoamentos com superfície livre como a escoamentos inteiramente confinados pelas paredes de uma conduta forçada.

Pode-se admitir, com suficiente aproximação, que o valor crítico $\frac{VD}{\nu} = 2000$ é numèricamente correcto para um canal muito largo, desde que se escreva sob a forma $\frac{Vy}{\nu} = 500$; isto resulta de o diâmetro de um tubo ser igual

a 4 vezes o seu raio hidráulico e êste, para canais muito largos, se aproximar muito do valor da profundidade da água.

Traçando as curvas representativas de y em função de v para diferentes valores dos números de Froude e de Reynolds [1] obtêm-se respectivamente parábolas com os vértices na origem das coordenadas e hipérboles assimptóticas dos eixos de coordenadas.



A curva correspondente a $R = 500$ separa dois regimes de escoamento diferentes, conhecidos por *sossegado* ou *laminar* ($R < 500$) e *turbulento* ($R > 500$), designações que se coadunam bem com a sua natureza.

A curva correspondente a $F = 1$ separa os regimes de escoamento caracterizados por a velocidade ser inferior ou superior a $\sqrt{gy}$ (velocidade crítica). A estes dois regimes de escoamento tem sido dadas as seguintes designações: *fluvial* e *torrencial* — por analogia com os escoamentos verificados nos rios e nas torrentes — e *tranqüilo* e *rápido*. Estas designações não parecem muito lógicas, pois conduziriam a designar-se o escoamento (caso III da figura) por tranqüilo-turbulento, isto é, por duas palavras com significações antagónicas, ou ainda (caso I da figura) fluvial-laminar, designação também ilógica visto a palavra fluvial dar idéia do escoamento em rios, que é sempre turbulento. À falta de melhor terminologia designarei os dois regimes de escoamento caracterizados pelo número de Froude por *lento* e *rápido*.

Os quatro regimes de escoamento indicados na figura seriam então:

I — Lento-laminar.....	$F < 1$	e	$R < 500$
II — Rápido-laminar	$F > 1$	e	$R < 500$
III — Lento-turbulento	$F \geqslant 1$	e	$R > 500$
IV — Rápido-turbulento ...	$F > 1$	e	$R > 500$

Os regimes I, III e IV são muito conhecidos por serem os que mais vezes se observam na prática. Quanto ao regime II, embora a teoria fizesse prever a sua existência, êle só se verifica em condições especiais — profundidade de água muito reduzida e inclinação adequada superior à crítica — sendo por estes motivos e ainda pelo facto de uma inclinação demasiada da soleira ou mesmo uma irregularidade desta provocarem o estabelecimento do «slug-flow» [1] que raras vezes é observado. Em ensaios de laboratório realizados recentemente J. M. Robertson e Hunter Rouse obtiveram vários exemplos dêste regime de escoamento [2] do qual tiraram fotografias interessantes.

O conhecimento dos quatro regimes diferentes de escoamento de água em conduta livre não tem apenas interêsse teórico, pois em certas questões de hidráulica, nomeadamente nos ensaios em modêlo reduzido, apresentam-se todos os regimes descritos.

*
* *

As considerações feitas aplicam-se apenas a fluidos isótropos e homogéneos. Nos escoamentos de água com partículas sólidas em suspensão ou mesmo arrastadas junto do fundo, caso das cheias nos rios, ou de água emulsionada com ar, caso dos escoamentos em conduta livre a altas velocidades, o fluido deixa de ser homogéneo. Seria então necessário considerar novas variáveis que descrevessem completamente as características da mistura

---

(1) Para simplicidade de cálculo tomou-se $\nu = 0{,}01$ cm²/seg, que corresponde à viscosidade cinemática da água a uma temperatura de 20°.

(1) Tipo de escoamento descrito no artigo atrás citado e para o qual não conheço nenhuma designação adequada na nossa língua.

(2) «On the four regimes of open-channel flow» — Civil Engineering — Maio - 1941.

da água com as partículas sólidas ou com o ar. Infelizmente essas variáveis ainda não são conhecidas; para escoamentos de água com carrejos sólidos tem-se aplicado parâmetros empíricos, havendo no entanto já bastantes experiências feitas sôbre êste problema.

José Luiz Gomez Navarro no seu recente livro (1941) intitulado «Regulacion de Rios» diz, a pag. 115, que nos escoamentos de rios em cheias, em que a água esteja saturada de carrejos sólidos, o coeficiente de Chezy pode sofrer uma redução de 58 %, isto é, a velocidade do escoamento passaria a ser apenas de 42 % da correspondente a água límpida.

Quanto ao caso de escoamentos de água emulsionada com ar não vale a pena repetir o que já tive ocasião de dizer no artigo atrás citado, pelo que direi apenas que ainda estão mal estudados e que a percentagem máxima de ar registada em escoamentos desta natureza é de 63 % para uma velocidade de 34 m/seg.

Lisboa, Maio de 1942.

DUAS SONDAGENS NO GÔLFO DO TEJO [1]

PELO ENG.º CIVIL (I. S. T.) ANTÓNIO MANUEL VASCONCELLOS [2]

Para estudo da captação de águas destinadas ao abastecimento da vila da Golegã foram efectuadas, sob a orientação da Secção de Melhoramentos de Águas e Saneamento, por intermédio do autor, duas sondagens de pesquisa.

Tratando-se duma região de sub-solo pouco conhecido julgamos interessante registar os elementos colhidos que podem, não só contribuir para o estudo das formações geológicas do golfo do Tejo e do Sado, mas também servir para mostrar como é aleatório êste género de trabalho.

O Gôlfo do Tejo e do Sado

O que hoje se conhece do Gôlfo do Tejo-Sado leva a crer que tenha sido formado, no fim do Mesozoico ou princípios do Cenozoico, por falhas e abatimentos sucessivos. As margens ocidentais desta grande depressão, na Bordadura mesozoica, são geralmente de falha ou grandes abatimentos. As margens orientais, situadas em plena Meseta, são de abatimento suave. As falhas das margens ocidentais devem ter repercussões para o interior do Gôlfo de modo que se torna impossível prever a profundidade do bed-rock do enchimento terciário-quaternário.

Os afloramentos do bed-rock existentes em pleno Gôlfo atestam quanto é irregular a sua profundidade.

Quanto a profundidades do bed-rock, o Prof. E. Fleury [3], indica os seguintes elementos:

Locais	Profundidades
Entroncamento	30 m. (?)
Cardiga	30 m. (?)
Santarém.	Superior a 162 m.
Alhandra.	» » 116
Canto do Diamante (V. F. Xira)	» » 230

Carlos Ribeiro [1] admitia que entre Golegã e Vila Nova da Rainha a profundidade fôsse da ordem dos 600 a 700 m.

Quanto à natureza do bed-rock também poucos elementos existem. O alinhamento Tomar — S. Tiago do Cacém, que une os pontos das margens do Gôlfo correspondentes ao contacto Meseta-Bordadura, é natural que coïncida no fundo do Gôlfo com êsse contacto. Os afloramentos do bed-rock existentes não contrariam muito esta hipótese.

Pelas sondagens efectuadas no Entroncamento e na Cardiga parece ter-se averiguado ser aí o bed-rock constituído por rochas da Meseta.

---

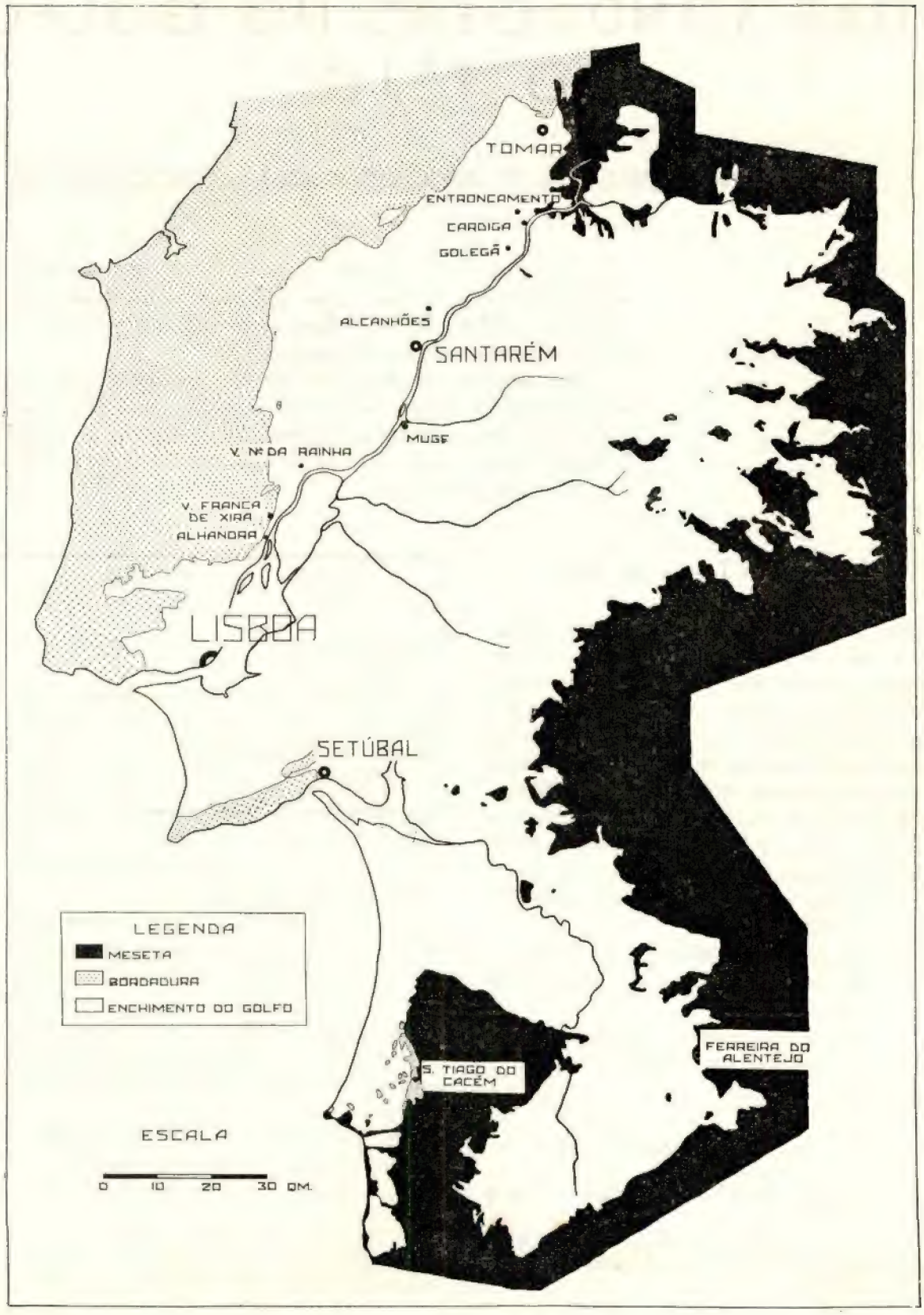
(1) A publicação dêste trabalho foi superiormente autorizada.

(2) Da Secção de Melhoramentos de Águas e Saneamento.

(3) As Últimas Grandes Evoluções Geológicas do Ribatejo — Boletim da Junta Geral do Distrito de Santarém — 1936 — pág. 13.

(1) Memória sôbre o abastecimento de Lisboa com águas de nascente e águas do rio. 1867 — pág. 71.

GÔLFO DO TEJO E SADO



Carlos Ribeiro [1] previa entre Golegã e Vila Nova da Rainha as formações da Bordadura mesozoica.

O enchimento do Gôlfo

O enchimento do Gôlfo do Tejo e do Sado é complexo e em muitos pontos mal conhecido.

As formações mais antigas, que devem existir nas partes mais fundas do Gôlfo, mas que apenas se observam com desenvolvimento regular na orla ocidental, são de facies continental, correspondendo provàvelmente ao Oligocénico. As formações que se lhe seguem acusam uma transgressão marinha, correspondente ao Miocénico.

Os depósitos de facies marinho mais avançados que se conhecem são em Alcanhões e Ferreira do Alentejo. Os de facies continental estendem-se muito mais para o interior.

Em seguida à transgressão miocénica houve uma regressão, formando-se nessa altura os depósitos pliocénicos que são quási todos de facies continental, tendo apenas uma pequena zona de facies marinho.

Sôbre estas formações terciárias assentam nalguns pontos os depósitos quaternários e modernos, durante a formação dos quais se deu uma nova transgressão marinha que, segundo Choffat [2] atingiu pelo menos a região de Muge.

Todos estes grupos de séries, em virtude da sua génese, são lenticulares e com variações de facies nos mesmos níveis, tornando portanto difíceis as previsões.

Segundo António Tôrres [3] a estratigrafia completa da parte continental do enchimento do Gôlfo é a seguinte:

Quaternário	Moderno	10 — Aluviões do Tejo. Tufos modernos e argilas vermelhas.
		9 — Calhaus rolados com cimento de argila vermelha.
		8 — Tufos e travertinos com vegetais e gasterópodos.
Terciário	superior	7 — Calcáreos com fosseis (calcáreos de Santarém).
		6 — Areias e grés com camadas de argila intercaladas. Formação arenosa do Cartaxo.
	médio	5 — Calcáreo com fosseis (calcáreo de Pernes).
		4 — Grés grosseiro com intercalações de argilas com vegetais e vertebrados. Formação arenosa do Arneiro.
		3 — Grés grosseiro com ostras. Formação salobra.
	inferior	2 — Calcáreo com raros fosseis (calcáreo de Alcanede).
		1 — Grés grosseiro. Formação arenosa inferior ou grés do Monsanto.

Da região da Golegã poucos elementos existiam antes das sondagens agora efectuadas. Além dum Relatório do Eng. Luiz de Saldanha [1] apenas temos conhecimento dumas referências de Carlos Ribeiro [2] assinalando uma formação de calhaus muito permeável, a cêrca de 10 m. de profundidade, alimentada pela própria água do Tejo.

As sondagens da Golegã

As sondagens agora efectuadas, nos locais indicados na planta, revelaram a composição do solo conforme o esbôço junto.

Duma maneira esquemática pode dizer-se que as formações são:

Até 10 m. de profundidade — Saibros e areias com alguns calhaus rolados.

De 10 a 20 m. — Grandes calhaus rolados com cimento argiloso mais abundante no furo A que no B.

De 20 a 35 m. — Argilas e grés.

De 33 a 43 m. — No furo A uma série de areias e saibros que não se interceptou no furo B.

De 43 a 47 m. pelo menos — Na sondagem A

(1) Obra citada, pág. 71.

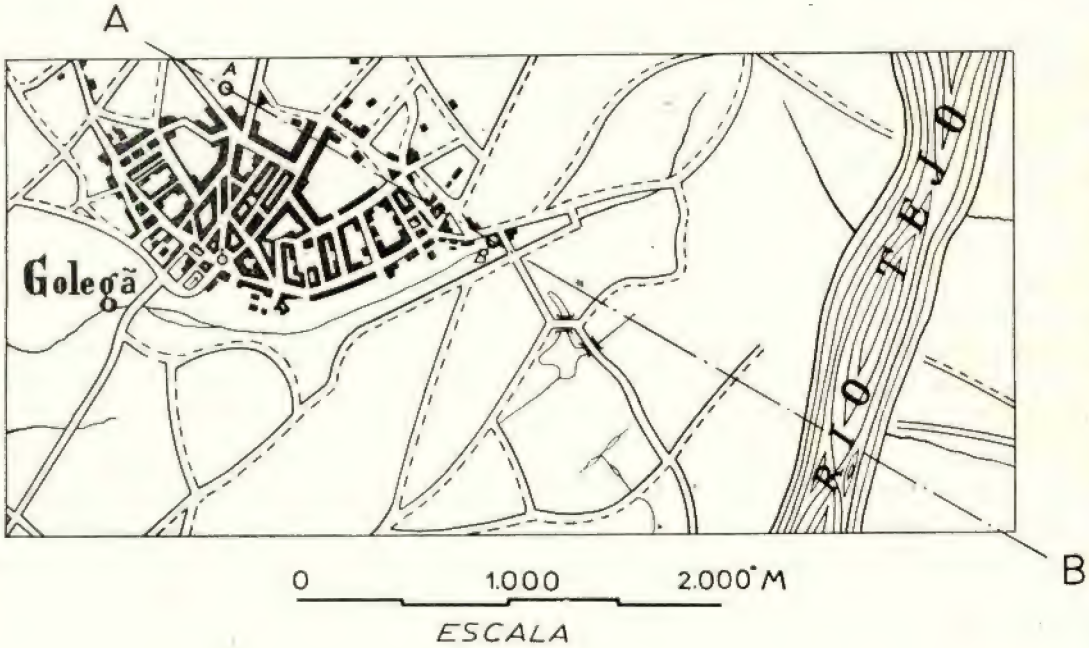
(2) Le Portugal Agricole — Cincinnato da Costa — 1900 — pág. 42.

(3) Le Néogène Continental dans la Basse Vallée du Tage.

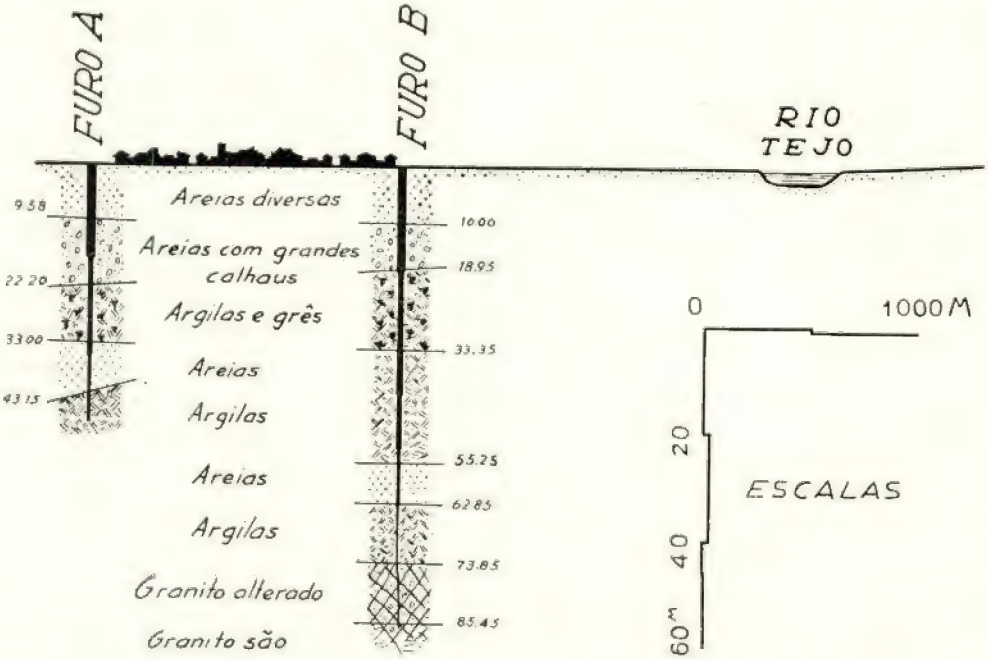
(1) Estudo hidrogeológico para o abastecimento de água à vila da Golegã — 1939.

(2) Memória sôbre o abastecimento de Lisboa com águas de nascente e águas do rio. 1867 — págs. 52 e 54.

PLANTA GERAL



CORTE POR AB



níveis de argila análogos aos que na sondagem B se interceptaram de *33 a 55 m.*

De 55 a 63 m. — Areias.

De 63 a 74 m. — Argilas.

De 74 a 85 m. — Granito alterado.

Dos 85 m. em diante — Granito compacto que é de grão médio e com mica preta.

A estratigrafia destas formações é difícil de determinar.

O granito é, sem dúvida, do bed-rock do Gôlfo e pertence à Meseta.

Das formações do enchimento apenas se pode suspeitar que a série de areias de 55 m. a 65 m., no furo B, sejam do Miocénico, devido à composição química das suas águas. Com efeito, o elevado teor de cloretos, 870 mgs/litro, deve provir da origem marinha ou pelo menos salobra da formação. Como foi no Miocénico que se deu a transgressão máxima do Terciário, é natural que estas formações a êle pertençam.

O ponto mais avançado de facies marinho que se conhecia era Alcanhões. As séries agora descobertas na Golegã podem pertencer à parte marinha do Gôlfo ou a um grande lago salgado.

O facto do bed-rock nesta região ser uma rocha da Meseta vem confirmar a opinião do Prof. Fleury [1] de que a Meseta podia estender-se mais para ocidente da linha Tomar — S. Tiago do Cacém.

É provável que esta zona avançada se prolongue mais para o Sul, formando um saliente na direcção herciniana do maciço de Évora e tomando portanto o limite da Bordadura uma direcção paralela à costa actual.

O abastecimento de águas à Golegã

O abastecimento de águas à Golegã exigia um caudal de 600 m³/dia de água com qualidades químicas e bacteriológicas que dispensassem tratamento. Por razões de ordem económica tentou-se obter águas artesianas o mais próximo possível da vila e isoladas da inquinação superficial por espêssa e contínua camada impermeável.

Porém os dois furos abertos mostraram não se poder utilizar, pràticamente, as águas artesianas por deficiência de caudal, conforme se observa no quadro junto.

Furos	Profundidade das camadas aquíferas (m)	Profundidade do nível de repouso (m)	Caudais m³/dia	Rebaixamento do nível (m)
A	35 a 43	6,5	96	15
B	57 a 63	5,0	72	25

Assim houve que recorrer ao lençol freático cujo caudal medido no furo B satisfaz mas que tem o inconveniente da água não estar ao abrigo duma possível inquinação ou turvação.

No furo A êste lençol era mais fàcilmente inquinável que em B, devido à proximidade da vila e do cemitério. Além dêste inconveniente existia o facto do caudal de A ser inferior ao de B.

A análise química indica tratar-se duma água aceitável.

A proximidade da zona inundável do Tejo faz temer turvações como sucede nalguns poços vizinhos, devido provàvelmente à infiltração directa das águas do Tejo junto das próprias paredes dos poços. A turvação no furo B também pode vir a dar-se pela afluência de águas turvas dos poços proximos que, ao atravessarem a formação dos grandes calhaus não sofram filtração suficiente por não ser a granulometria favorável.

Estes inconvenientes devem ser suprimidos, ou pelo menos atenuados, evitando as infiltrações directas das águas das cheias junto das paredes do furo e dos poços vizinhos. Caso esta precaução não dê resultado recorrer-se-á ao tratamento químico, que pode ser por exemplo, pelo emprêgo de coagulantes como o alumen.

Quanto a qualidades bacteriológicas a análise efectuada acusa um título colibacilar de 3 c. c.

É natural que esta água possa vir a ser inquinada pelo que deve ser previsto o seu tratamento: por exemplo, pelo processo da cloragem.

[1] Boletim da Junta Geral do Distrito de Santarém — 1936 — pág. 12.

NOTAS BIBLIOGRÁFICAS

Lições de Geometria Descritiva

Pelo Prof. Doutor BORGES SEQUEIRA

Foi o autor professor desta cadeira no Instituto Superior Técnico e todos, os que por esta passaram e foram seus alunos, o recordam sempre com amizade e prestam homenagem às suas belas qualidades de professor e ao seu alto espírito de justiça.

Na Faculdade de Ciências de Lisboa onde ensina a mesma disciplina não é êle menos apreciado como o provam as elogiosas mas justas palavras do Sr. Prof. Doutor Vítor Hugo de Lemos, director desta Faculdade, no prefácio desta 3.ª edição e que a seguir transcrevemos, em parte:

«Há aproximadamente 30 anos que o Prof. Doutor Luiz Guilherme Borges de Sequeira faz com a maior competência e dedicação, o ensino da Geometria Descritiva da Universidade de Lisboa. A sua acção tem sido notável não só pela elevação em que tem mantido êsses estudos, auspiciosamente fundados no nosso País pelo falecido General Motta Pegado, mas também pela forma modelar que tem usado nas relações com os seus discípulos. Em cada aluno cria o Prof. Sequeira um amigo, a-pesar-das estatísticas o indicarem possìvelmente como o mais exigente, dos seus colegas. É que as suas exigências são acompanhadas de manifestações inconfundíveis de interêsse e amizade levando naturalmente os seus discípulos a reconhecr que são tratados com lealdade e estima que para êles teria um pai exigente.

Assim se explica que a homenagem prestada nesta Faculdade a professores que se afastam do serviço por atingirem o limite da idade, publicando as suas lições — homenagem cuja delicada iniciativa tem pertencido, como regra, ao próprio Prof. Borges de Sequeira — seja desta vez de iniciativa dos estudantes e se realize quando felizmente ainda a Faculdade conta o homenageado entre o seu corpo docente efectivo.»

Tem esta 3. ª edição, sobre as duas primeiras a vantagem de ser formato mais cómodo, muito melhor apresentação gráfica, texto mais desenvolvido e grande aumento no número de gravuras que o acompanham.

Quanto á matéria nêle contida está exposta com a consciência e clareza que já caracterizavam as outras edições, bem como as lições deste professor.

O facto de ser dos poucos livros de Geometria Descritiva escritos em português e o de empregar a notação moderna faz desta obra o melhor livro de consulta para os alunos do Técnico, nos capítulos comuns dos programas daquela cadeira, naquela Faculdade e na nossa Escola.

L. L.

PUBLICAÇOES RECEBIDAS

Não periódicas

Bulletin des E'tudes Portugaises et de l'Institut Français en Portugal — Ano de 1941 — Dezembro.

Publicações periódicas

PORTUGAL

ARQUITECTURA PORTUGUESA E CERÂMICA E EDIFICAÇÃO — Março de 1942.

ANAIS DO CLUB NAVAL — Novembro-Dezembro de 1941.

ARQUIVO FINANCEIRO E SEGURADOR — Fevereiro de 1942.

A INDÚSTRIA DO NORTE — Janeiro - Março de 1942.

BROTÉRIA — Fevereiro de 1942.

BOLETIM DA ORDEM DOS ENGENHEIROS — Março de 1942.

BOLETIM DA SOCIEDADE DE GEOGRAFIA — Janeiro-Fevereiro de 1942.

BOLETIM DA JUNTA NACIONAL DE CORTIÇA — Março de 1942.

ESTUDOS — Fasc. 2 — 1942.

GAZETA DOS CAMINHOS DE FERRO — N.os 1304 e 1305.

GAZETA DE MATEMÁTICA — Abril de 1942.

GIL VICENTE — Março-Abril de 1942.

INDÚSTRIA PORTUGUESA — Abril de 1942.

OCIDENTE — Maio de 1942.

SEARA NOVA — N.os 764 a 767.

REVISTA DE ARTILHARIA — Janeiro-Fevereiro de 1942.

ESPANHA

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS — Maio de 1942.

CEMENTO — Fevereiro, Março e Abril de 1942.

DYNA — REVISTA DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE ENGENHEIROS INDUSTRIAIS — Maio de 1942.

FRANÇA

LA CHRONIQUE DES MINES COLONIALES — Abril de 1942.

HUNGRIA

TECHNIKA — Abril de 1942.

ITÁLIA

L'ORGANIZAZIONE SCIENTIFICA DEL LAVORO — Março e Abril de 1942.

RADIO-TELEVEZIONE — Março de 1942.

L'ELECTROTECNICA — N.os 3, 4, 5 e 6 de 1942.

Ferramentas de alta qualidade
para electricistas

MATHIAS KLEIN & SONS

em exposição na
Rua Augusta, 19

Standard Electrica

TELEFONE 23111/12/13 LISBOA

Granulados de mármores
para exportação e para o país
Mosaicos de granulados
de mármore

OS MAIS BONITOS
OS MAIS RESISTENTES
OS MAIS VANTAJOSOS

Soc. Portuguesa CAVAN
Rua D. Estefania, 42
Telefone 47812 — Lisboa

FILIAL NO PÔRTO:
PRAÇA DA BATALHA, 90, 2.º

EMULSÕES
de asfalto para estradas

Todos os tipos e percentagens

TELEFONE 20879
Telegramas: Epalda—LISBOA

FÁBRICA EM SACAVÉM

Publicações da TÉCNICA

Tabelas para o Cálculo do Betão Armado Eng. VASCO COSTA
Preço 35$00

O cálculo de Betão Armado aplicado aos edifícios Eng. J. DE CANG
Preço 95$00

Normas e Regulamentos para Instalações Eléctricas
Preço 16$00

Ábacos para o Cálculo de Betão Armado Eng. VASCO COSTA
Preço 3$00

Cálculo dos Colectores de esgoto de secção ovoide Eng. José Gomes Alvarez
Preço 6$00

Pontos Modelos de exames de aptidão ao I. S. T. Preço 9$00

Regulamento de Pontes Metálicas
Preço 6$00

Desconto de 10 % aos nossos assinantes

A' venda na redacção da TECNICA

Sondages. Etanchements. Consolidations "Procédés Ródio"

Sondagens geológicas
Estudo da resistência e permeabilidade de terrenos; laboratório geofísico
Consolidação e impermeabilização de terrenos e alvenarias por meio de injecções de cimento, produtos químicos, emulsão betuminosa Shellperm, etc.
Estacas de beton armado, sistema **Ródio** sem fazer trepidar o solo
Rebocos comprimidos por «cement gun»
Fundações em terrenos difíceis por congelação artificial, ou baixando o nível da água friática.

Sociedade Anónima com séde em PARIS

As melhores referências no paiz e no estrangeiro

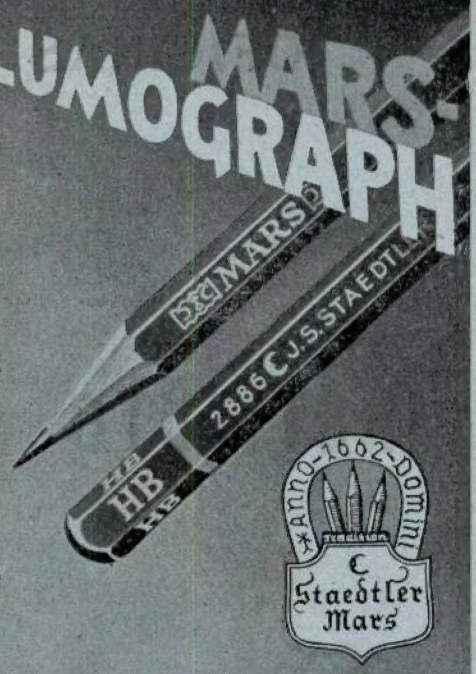
Engenheiro delegado para Portugal

Walter Weyermann

P. do Município, 32-2.º--LISBOA Tel. 2 8685

As características inexcedíveis do lapis MARS-Lumograph para desenho e cópias heliográficas, unico com a propriedade de absorver a luz, patenteado, são as seguintes:

1. Prêto intenso e traço opaco
2. Desgaste minimo
3. Traço indelevel no mais alto grau possivel
4. Graduações bem escalonadas e sempre iguaes
5. Traço de facil apagar
6. Mina muito resistente contra quebra
7. Mina que desliza esplendidamente sobre o papel



Fabrica de Lapis MARS Nurnberg

SOCIEDADE INDUSTRIAL METALURGICA

Responsabilidade Limitada

(REGISTADO)

SERRALHARIAS,
CALDEIRARIA,
FERRARIA,
FUNDIÇÕES

ESCRITÓRIO

Rua de S. Tiago, 13

LISBOA

Telefone 26572

CABRESTANTE

Vende-se

como novo, 3.000 quilos de elevação em rampa a 35°, veloc. 1,50 mts/s. com equipamento eléctrico completo, motor de 40 CV., reostato arranque, interruptor de marcha, travão electro-magnetico e 300 metros cabo d'aço zincado 20 mm ø

Recebe ofertas e presta esclarecimentos:

S. A. ELECTRO DEL LIMA

RUA DUQUE DE LOULÉ, 240

PORTO

OFICINAS E LABORATÓRIOS

DO

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

As oficinas pedagógicas do Instituto Superior Técnico, de CARPINTARIA DE MOLDE, de INSTRUMENTOS DE PRECISÃO e de ELECTROTÉCNICA, fornecem todo o género de material escolar e de demonstração para o ensino técnico. Nos laboratórios de QUÍMICA ANALÍTICA, FÍSICA INDUSTRIAL E DE MINERALOGIA executam-se análises para o público

Para quaisquer informações, dirigir-se ao secretário da comissão executiva

EMPRÊSA DE SONDAGENS E FUNDAÇÕES, L.DA

COM

Eng. Ricardo E. Teixeira Duarte

(um quarto de século de especialização técnica)

Sondagens geológicas

—

Poços artezianos

—

Rebaixamentos do nível freático

—

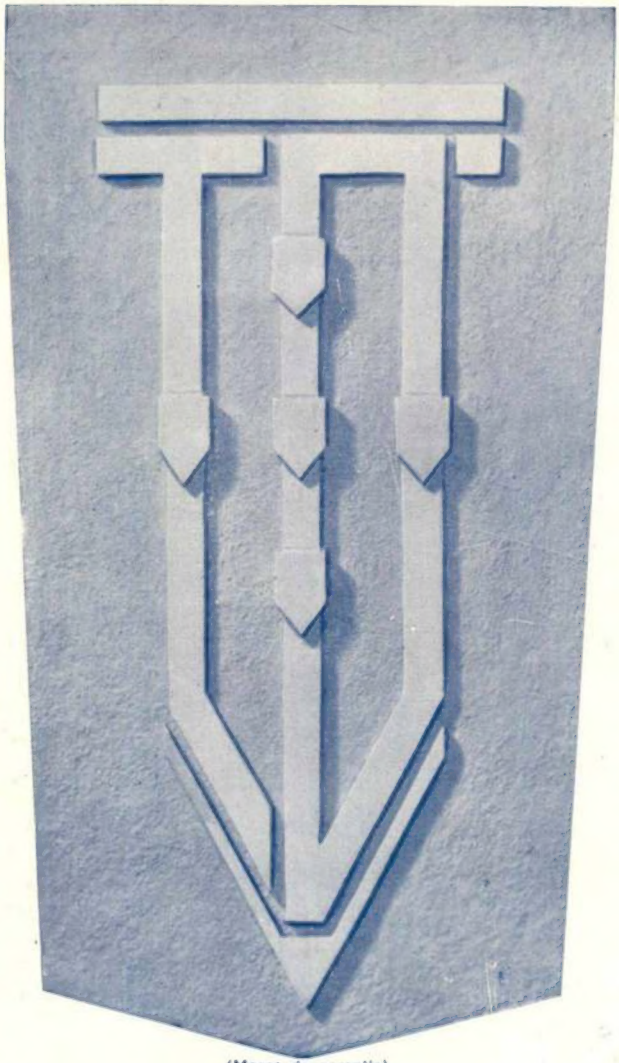
Consolidações do solo

—

Impermeabilização de rochas

—

Captações de água subterrânea



(Marca de garantia)

Fundações de todos os géneros

—

Alicerces económicos

—

Estacas de todos os tipos

—

Consolidação de más fundações

—

Obras hidráulicas

—

Obras subterrâneas

LISBOA — RUA AUGUSTA, 280, 3.º E 4.º

TELEFONE 2 3962

SOCIEDADE ANÓNIMA

BROWN, BOVERI & CIE.

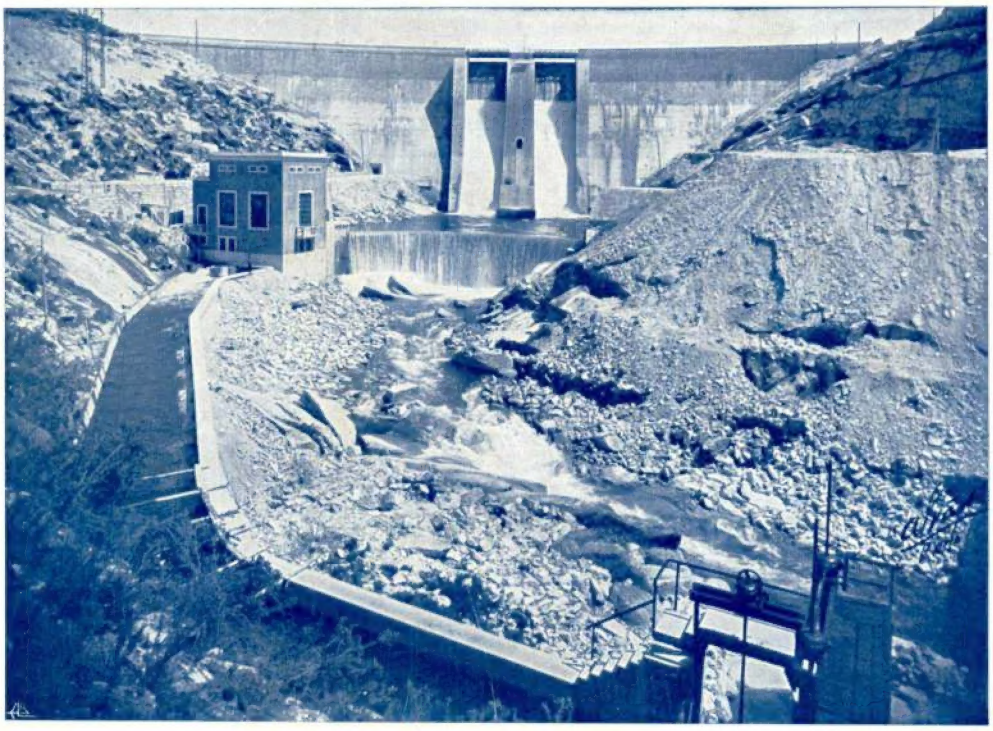
BADEN (SUISSA)

Representante geral para Portugal e Colónias:

EDOUARD DALPHIN

Escritório Técnico: Rua de Passos Manuel, 191, 2.º // PORTO // Tel. 2411

Máquinas eléctricas, transformadores, mutadores, aparelhos para alta e baixa tensão. Montagem completa de centrais termo e hidro-eléctricas. Electrificação de fábricas e de caminho de ferro. Locomotivas, e auto-motoras eléctricas e Diessel-eléctricas. Máquinas de extracção. Turbinas a vapor. Geradores de vapor Velox. Máquinas frigoríficas. Grupos e transformadores para a soldadura pelo arco. Fornos eléctricos. Comandos eléctricos especiais para tôdas as máquinas utilizadas nas Fábricas de Fiação, Tecelagem, Acabamentos, Estamparia, Cimento, Moagem, etc.



Barragem do Ermal, da Companhia Electro-Hidráulica de Portugal, com 20 milhões de metros cúbicos de capacidade da albufeira. Na parte central, duas comportas automáticas, da casa construtora «Ateliers des Charmilles», de 9 × 5 metros, para a evacuação das cheias. Em baixo, a central automática de Guilhofrei (I) com uma turbina vertical tipo Kaplan (Ateliers des Charmilles) de 2750 cavalos e o canal de condução da água à central do Ermal (central II) com uma turbina vertical tipo Francis de 6250 cavalos (Ateliers des Charmilles) e duas horizontais (Escher-Wyss) de 500 e 1500 cavalos. Tôda a parte eléctrica (alternadores, transformadores, aparelhos de 2000 e 30000 Volts) da casa BROWN, BOVERI & Cie.